

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO RANZAN

REPOSIÇÃO DE POTÁSSIO E FÓSFORO EM SUCESSÃO DE CULTIVOS EM
SOLO DE ALTA FERTILIDADE COM NÍVEIS DE RETIRADA DE BIOMASSA

CURITIBA

2018

THIAGO RANZAN

REPOSIÇÃO DE POTÁSSIO E FÓSFORO EM SUCESSÃO DE CULTIVOS EM
SOLO DE ALTA FERTILIDADE COM NÍVEIS DE RETIRADA DE BIOMASSA

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência
do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Cassol

Coorientadora: Profa. Dra. Rosane Martinazzo

Coorientador: Prof. Dr. Carlos A. P. Silveira.

CURITIBA

2018

R214r Ranzan, Thiago
Reposição de potássio e fósforo em sucessão de cultivos em
solo de alta fertilidade com níveis de retirada de biomassa /
Thiago Ranzan. - Curitiba, 2018.
50 p.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do
Solo.
Orientador: Volnei Pauletti
Coorientador: Luiz Cesar Cassol

1. Solos - Adubação. 2. Solos - Fertilidade. 3. Solos - Manejo.
I. Pauletti, Volnei. II. Cassol, Luiz Cesar. III. Martinazzo, Rosane
(Coorientador). IV. Silveira, Carlos A. P. (Coorientador). V. Título.
VI. Universidade Federal do Paraná.

CDU 631.452



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS DO SOLO

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **THIAGO RANZAN** intitulada: **Reposição de potássio e fósforo em sucessão de cultivos em solo de alta fertilidade com níveis de retirada de biomassa**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 23 de Abril de 2018.

VOLNEI PAULETTI
Presidente da Banca Examinadora

VANDER DE FREITAS MELO
Avaliador Interno

CARLOS AUGUSTO POSSNER SILVEIRA
Avaliador Externo

ALINE ROBERTA DE CARVALHO SILVESTRIN
Avaliador Externo

LUIS CESAR CASSOL
Avaliador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus o dom da vida. Nossa Senhora Aparecida, minha santinha, obrigado pelas graças alcançadas na minha vida e ao meu anjo da guarda, meu zeloso guardador, sempre me rege, me guarde, me governe, me ilumine, amém.

Aos meus pais, Jandir e Denize Ranzan, agradeço a honra de ser filho de vocês e serei eternamente grato por me oportunizarem o estudo, amo vocês.

Professor Volnei Pauletti, meu orientador, conselheiro e espero poder chamar para sempre de amigo! Obrigado pelo conhecimento adquirido ao longo desses seis anos ao seu lado no mestrado e doutorado. Em seu nome agradeço a todos os demais professores do setor de solos da Universidade Federal do Paraná.

À Denise, secretária da pós, agradeço as conversas nos momentos de estresse e aos puxões de orelha. A Maria, laboratorista de mineralogia pelo empenho no acompanhamento das minhas análises e, em nome dela, estendo o meu agradecimento a todos os outros laboratoristas.

Agradeço ao Professor Luiz Cesar Cassol e em nome dele todos os estudantes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, que auxiliaram na condução do experimento de campo. Não posso esquecer do senhor Otávio, sempre estando presente nas tarefas que desempenhamos ao longo destes quatro anos. Obrigado por permitirem executar o experimento nessa instituição.

Aos meus colegas de mestrado e doutorado e também aos estudantes da PUCPR que me auxiliaram nas coletas de campo e análises laboratoriais, obrigado por ajudarem a construir esse sonho. Não irei citar nenhum nome para não cometer o erro de deixar alguém de fora, mas quero que saibam que nossos momentos de trabalho e descontração serão lembrados eternamente. Contem comigo!

Aos meus colegas de trabalho na PUCPR pela amizade. Sou muito grato por fazer parte dessa família.

Aos avaliadores da minha banca, Prof. Vander, Carlos Augusto, Profa. Aline e Prof. Cassol, obrigado por dedicarem o tempo de vocês colocando suas sugestões neste trabalho.

A todos os membros do Projeto Xisto Agrícola, mas em especial ao Guto e a Rosane, agradeço profundamente a oportunidade de fazer parte dessa equipe

maravilhosa, espero ter muito em que contribuir nos próximos anos para retribuir essa oportunidade. Estendo meu agradecimento ao Rafael De Lazari, meu sucessor na área experimental do Projeto Xisto em São Mateus do Sul colega de profissão e amigo.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a toda minha família e amigos de todos os cantos desse Brasil, pela preocupação, orações, festas e conversas que tiveram comigo.

Encerro estes agradecimentos dizendo que do fundo do meu coração, espero poder retribuir tudo o que já ganhei nessa vida, deixando algum legado de bem para àqueles que virão.

“ Há um ditado chinês que diz que, se dois homens vêm andando por uma estrada, cada um carregando um pão, ao se encontrarem, eles trocam os pães; cada um vai embora com um. Porém, se dois homens vêm andando por uma estrada, cada um carregando uma ideia, ao se encontrarem, trocam as ideias; cada um vai embora com duas. Quem sabe, é esse mesmo o sentido do nosso fazer: repartir ideias, para todos terem pão... ”

Mario Sergio Cortella

RESUMO

O Brasil é referência no setor agrícola, responsável por grande parte dos alimentos produzidos no mundo. O solo é a base que sustenta a produção agrícola, manejá-lo de maneira correta é indispensável visando à sustentabilidade da agricultura. Com o passar dos anos, técnicas vem sendo aprimoradas buscando o manejo correto da adubação nos sistemas agricultáveis. Essas estratégias de adubação visam sempre à eficiência de utilização dos nutrientes pelas plantas, sendo elas: época e forma de posicionamento dos fertilizantes durante a aplicação e também as fontes fertilizantes que serão utilizadas. Uma área que foi manejada de maneira correta, apresenta elevado teor de nutrientes no solo, assim denominada, área com a fertilidade construída. Quando o teor dos nutrientes se encontram em níveis de interpretação alto/muito alto, a resposta das plantas à adição de fertilizantes é praticamente nula, somente sendo necessário repor os nutrientes com o intuito de não empobrecer o solo. A adubação de reposição não visa o fornecimento imediato de nutrientes às plantas, possibilitando a utilização de fontes fertilizantes de baixa solubilidade em substituição das fontes solúveis. Com isso, o objetivo deste trabalho foi testar fontes fertilizantes solúveis e de baixa solubilidade na reposição de fósforo e potássio durante uma sucessão de espécies agrícolas. Foram conduzidos dois experimentos na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus de Pato Branco – PR. No experimento 1 foi realizado o teste da fonte solúvel cloreto de potássio em comparação a uma fonte alternativa de baixa solubilidade, denominada fonolito. Também no mesmo estudo foi realizada a retirada de porcentagens de biomassa residual agrícola com o intuito de acelerar a exportação dos nutrientes do solo. Para o experimento 2, foi testada a fonte solúvel de fósforo, utilizando o super fosfato triplo e uma fonte de baixa solubilidade, sendo utilizado o fosfato natural Itafós. A retirada de biomassa residual também foi realizada neste experimento.

Palavras-chave: Adubação de reposição. Alta fertilidade. Manejo da adubação.

ABSTRACT

Brazil is a reference in the agricultural sector, responsible for most of the food produced in the world. Soil is the basis for sustaining agricultural production, manage correctly is indispensable for the sustainability of agriculture. Over time, techniques have been improved searching the correct management of the fertilization in the agricultural systems. These fertilization strategies always aim at the efficient use of nutrients by plants, being they: season and mode of fertilizer placement during application and as fertilizer sources that are used. This area has been managed correctly, presenting high soil nutrient content, defined as area with a built fertility. When the nutrient content are found at levels of interpretation high or very high, the plants response to the addition of fertilizers it is almost null, been necessary just make the nutrients reposition with the intention of do not impoverish the soil. The replacement fertilizing is not intended to provide immediate supply of nutrients to the plants, making possible the utilization of low solubility fertilizers in substitution of soluble sources. With that, the goal of this project was to test soluble fertilizers sources and low solubility fertilizer in the replacement of phosphorus and potassium during succession of agricultural species. Were conducted two experiments at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, in Pato Branco – PR. At the first experiment was performed test of solubility between potassium chloride and another source of low solubility, called phonolite. In the same experiment was carried out withdraw of percentages of residual agricultural biomass, aiming to accelerate the export nutrients of the soil. To the second one was tested soluble phosphorus source, using the super triple phosphate and another source of low solubility, called natural phosphate Itafós. Withdraw of residual agricultural biomass was carried on this experiment too.

Keywords: Replacement fertilizer. High fertility. Management of fertilization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DADOS CLIMATOLÓGICOS COLETADOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO IAPAR, DISTANTE APROXIMADAMENTE 10 KM DO LOCAL ONDE FOI CONDUZIDO O EXPERIMENTO, OS DADOS SÃO REFERENTES AO PERÍODO DE 01/11/2013 ATÉ 28/08/2017, PATO BRANCO – PR.	24
FIGURA 2 – CORRELAÇÃO DO TEOR DE POTÁSSIO NO SOLO EXTRAÍDO PELOS MÉTODOS DE MEHLICH-1 E RESINA, PATO BRANCO – PR	26
FIGURA 3 – TEOR DE POTÁSSIO TROCÁVEL (a); NÃO TROCÁVEL (b); ESTRUTURAL (c) E TOTAL (d) DO SOLO EM FUNÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO APLICADAS PARA REPOSIÇÃO DO EXPORTADO PELAS PLANTAS DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR.....	28
FIGURA 4 – ESTOQUE DE POTÁSSIO TROCÁVEL (a); NÃO TROCÁVEL (b); ESTRUTURAL (c) E TOTAL (d) NA CAMADA DE 0-30 CM DO SOLO, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO E RETIRADA DA BIOMASSA RESIDUAL AGRÍCOLA DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR	18
FIGURA 5 – TEOR DE FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR MEHLICH-1 (a); FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR RESINA (b); FÓSFORO TOTAL (c) SUBMETIDAS A FONTES DE FÓSFORO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR	31
FIGURA 6 – ESTOQUE DE FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR MEHLICH-1 (a); ESTOQUE DE FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR RESINA (b); ESTOQUE DE FÓSFORO TOTAL (c) SUBMETIDAS A FONTES DE FÓSFORO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR.....	35
FIGURA 7 - DADOS CLIMATOLÓGICOS COLETADOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO IAPAR, DISTANTE APROXIMADAMENTE 10 KM DO LOCAL ONDE FOI CONDUZIDO O EXPERIMENTO, OS DADOS SÃO REFERENTES AO PERÍODO DE 01/11/2013 ATÉ 28/08/2017, PATO BRANCO – PR.	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PARÂMETROS DE PLANTA ANALISADOS EM UMA SUCESSÃO DE ESPÉCIES AGRÍCOLAS EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR17

TABELA 2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO DAS RETIRADAS DE BIOMASSA RESIDUAL PARA CADA FONTE DE POTÁSSIO TESTADA NA SUCESSÃO DE ESPÉCIES DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR..... 19

TABELA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PARÂMETROS AVALIADOS NO ENSAIO DE CAMPO. PATO BRANCO – PR.33

TABELA 4 – PARÂMETROS DE PLANTA ANALISADOS EM UMA SUCESSÃO DE ESPÉCIES AGRÍCOLAS EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR36

TABELA 5 – ANÁLISE DE REGRESSÃO DAS RETIRADAS DE BIOMASSA RESIDUAL ISOLANDO O FATOR FONTES DE FÓSFORO NA SUCESSÃO DE ESPÉCIES DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR.....39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2	CAPÍTULO I: FONTES PARA REPOSIÇÃO POTÁSSICA EM ÁREA COM FERTILIDADE CONSTRUÍDA FORÇANDO O ESGOTAMENTO DO SOLO.....	20
2.1	RESUMO	20
2.2	ABSTRACT	20
2.3	INTRODUÇÃO.....	21
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	22
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
2.6	CONCLUSÕES.....	34
2.7	REFERÊNCIAS	35
3	CAPÍTULO II: FONTES PARA REPOSIÇÃO DE FÓSFORO EM ÁREA COM A FERTILIDADE CONSTRUÍDA.....	39
3.1	RESUMO	39
3.2	ABSTRACT	39
3.3	INTRODUÇÃO.....	40
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.6	CONCLUSÕES.....	53
3.7	REFERÊNCIAS	53
4	CONCLUSÃO GERAL	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país de proporções continentais, possuindo uma das maiores áreas agricultáveis do mundo e um dos principais fornecedores de alimentos para a humanidade (Dall'agnol & Hirakuri, 2008). Grande parte da agricultura ocorre em solos altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural devido a remoção de nutrientes do solo que é acelerada em razão das condições de alta temperatura e precipitação pluvial (Lopes & Guilherme, 2007). Para tornar o solo produtivo é necessário manejar a fertilidade do mesmo, com a aplicação de adubos e corretivos (van Raij, 1996; CQFS, 2004; SBSCS/NEPAR, 2017). As práticas agrícolas brasileiras são referência para muitos países, principalmente se tratando dos manejos conservacionistas do solo. A construção da fertilidade do solo em alguns estados nos últimos quarenta anos é resultado de um longo trabalho envolvendo pesquisa e difusão tecnológica, permitindo a obtenção de áreas com elevados teores de nutriente devido à ação antrópica (Nicolodi et al., 2009).

Na construção da fertilidade do solo, os nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são os elementos aplicados em maiores proporções em relação aos demais nutrientes. Segundo Resende et al. (2016), solos de fertilidade construída correspondem a áreas agrícolas bem manejadas que passam a apresentar condições físicas, químicas e biológicas adequadas para produção e, se diferenciam das demais pelo histórico das sucessivas aplicações de fertilizantes e corretivos que permitem efeitos residuais cumulativos.

O fósforo é o nutriente que mais limita a produção vegetal em regiões de clima tropical. Sua participação é vital para o desenvolvimento das plantas e sua função está associada principalmente às atividades de armazenamento e transferência de energia (Malavolta, 2006; Hawkesford et al., 2012). As baixas concentrações deste nutriente são as principais características dos solos agricultáveis no Brasil, justamente devido o clima tropical proporcionar elevados teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (hematita, goetita e gibsitita). Com a presença destes minerais ocorre a adsorção do fosfato, reduzindo a disponibilidade para as plantas (Novais et al., 2007).

O potássio é o segundo nutriente mineral requerido em quantidade pela maioria das plantas, atrás apenas do nitrogênio. Algumas funções são: a resistência contra doenças, regulador osmótico, favorece a formação e peso nos grãos,

responsável pela cor e açúcar em frutos e resistência à toxidez por amônio (Hawkesford et al., 2012; Zörb et al., 2014). O potássio no solo encontra-se em três formas: disponível (solução + trocável), não trocável e estrutural. As formas não trocável e estrutural não estão prontamente disponíveis para as plantas, porém são importantes ao suprimento do nutriente a longo prazo (Zörb et al., 2014). As formas de potássio no solo são importantes para estimar a quantidade de nutriente disponível as plantas, pois em condições de teores baixos de K disponível, passa a ser utilizado o potássio não trocável para suprir suas exigências (Sarkar et al., 2013).

No Brasil o consumo de N, P_2O_5 e K_2O em 2016 foi de 34,1 milhões de toneladas, e deste consumo a porcentagem de importação foi de 71,8 %, demonstrando a grande dependência do país na importação destes nutrientes, fator que encarece os custos internos de produção (ANDA, 2017). Dos 34,1 milhões de tonelada de fertilizantes utilizados no Brasil, 11,9 milhões foram de fertilizantes fosfatados e 9,3 milhões de fertilizantes potássicos.

Trabalhar áreas de maneira a elevar sua fertilidade já é amplamente discutido na literatura (van Raij et al., 1996; CQFS, 2004; SBCS/NEPAR, 2017). As fontes de fertilizantes solúveis são as mais utilizadas nas áreas agrícolas, devido principalmente à alta concentração e sua rápida liberação (Lopes & Guilherme, 2007) e, se comparadas em áreas de baixa fertilidade com fontes de menor solubilidade, apresentam os melhores resultados, visto sua rápida dissolução (Harger et al., 2007; Frandoloso et al., 2010). Porém, existem poucos trabalhos comparando fontes solúveis e de baixa solubilidade em áreas onde a necessidade de adubação não é imediata, devido às altas concentrações dos nutrientes no solo, denominadas áreas de fertilidade construída. Com isso, a utilização de fontes de baixa solubilidade pode ser uma opção na reposição da adubação em áreas onde a demanda de nutrientes não é imediata.

De acordo com SBCS/NEPAR (2017), quando o teor do nutriente se encontra em nível alto/muito alto no solo – característica de uma área com a fertilidade construída, a produção relativa mínima deve ser acima de 90 %, assim, entende-se que a demanda dos nutrientes via fertilizantes não é imediata. Isso já foi observado por Fontoura et al. (2010), onde concluíram que, no sistema plantio direto, não há necessidade de aplicação de fertilizantes fosfatados para obtenção de alta produtividade em solos que tenham teores altos de P, a não ser para culturas muito exigentes nesse nutriente.

A fonte de baixa solubilidade alternativa aos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados são os fosfatos naturais, resultado da moagem da rocha fosfática e sua solubilidade é variável em função da sua origem (ígneo ou sedimentar), possuindo teores que variam de 4 a 33 % de P_2O_5 . Por apresentarem um custo inferior aos fertilizantes fosfatados solúveis totalmente acidulados, os fosfatos naturais têm despertado interesse. A eficiência agrônômica dos fosfatos é influenciada por diversos fatores além de sua origem, sendo grande parte destes afetados pelas características químicas do solo. Segundo Horowitz & Meurer (2004), a velocidade de dissolução dos fosfatos naturais é inversamente proporcional aos valores de pH do solo. Alguns trabalhos vêm estudando a solubilização destes fosfatos por métodos alternativos utilizando o princípio de acidificação do meio, diminuindo o pH, e auxiliando na liberação de fósforo pelo rompimento das estruturas da apatita (Richard et al., 2007; Frandoloso et al., 2010).

Uma fonte nacional de baixa solubilidade é o fonolito, rocha silicatada constituída principalmente por feldspatos alcalinos e feldspatóide, ou seja, microclínio e ortoclásio ($K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$), sanidina $[(Na,K)AlSi_3O_8]$ (Ernani et al., 2007; Melo et al., 2009). Ambos possuem como principal constituinte o feldspato potássico ($KAlSi_3O_8$). Encontrado em grande quantidade em Poços de Caldas – Minas Gerais (Teixeira et al, 2015).

A desvantagem no uso de fontes de baixa solubilidade é a sua lenta dissolução, visto que o elemento é componente estrutural do mineral (Harley & Gilkes, 2000). Contudo, Van Straaten (2006) relacionou os solos tropicais com a fácil dissolução das rochas e minerais devido à umidade e altas temperaturas e, segundo o autor, a intensa lixiviação faz com que o solo necessite uma maior adição de nutrientes para sua manutenção, fazendo com que o uso de fontes de baixa solubilidade reduza as perdas por lixiviação. Theodoro & Leonardos (2006) encontraram aumento de produtividade com o uso de fontes de baixa solubilidade para as culturas de cana-de-açúcar, milho, arroz, mandioca. Essas informações publicadas a respeito das fontes naturais e de baixa solubilidade demonstram a variação entre os diferentes materiais quanto à eficiência em liberar os nutrientes de sua matriz para a solução do solo e absorção pelas plantas.

A biomassa residual que permanece na superfície do solo é um dos pilares que sustentam o sistema de plantio direto, e de nenhuma forma deve deixar de ser componente deste sistema. Determinar a quantidade de biomassa que pode ser

retirada neste sistema, sem interferir na qualidade do solo, é importante, pois esta informação ainda não é conhecida (Blanco-Canqui, 2013), e segundo Murth et al. (2013) esta quantidade pode variar de acordo com o tipo de solo e clima.

A biomassa residual do cultivo de grãos pode ser utilizada na alimentação animal ou para geração de energia (Von Pinho et al., 2007; Saidur et al., 2011; Eckert et al., 2013; Tolmasquim 2016). Removendo a biomassa residual agrícola, consequentemente haverá uma maior exportação de nutrientes. Quando a biomassa residual permanece no solo ela participa da ciclagem dos nutrientes liberando gradativamente durante a mineralização, processo vital para a manutenção do sistema de plantio direto.

O objetivo geral deste trabalho foi testar fontes solúveis e de baixa solubilidade na reposição do fósforo e potássio em área de fertilidade construída. Esta tese está dividida em dois capítulos, sendo o primeiro capítulo composto pelo ensaio com as fontes fertilizantes potássicas e o segundo capítulo aborda as fontes fertilizantes fosfatadas.

2 CAPÍTULO I: REPOSIÇÃO DE POTÁSSIO EM ÁREA COM FERTILIDADE CONSTRUÍDA FORÇANDO O ESGOTAMENTO DO SOLO

2.1 RESUMO

Grande parte da agricultura tropical ocorre em solos altamente intemperizados e de baixa fertilidade natural. Para tornar o solo produtivo é necessário manejar a fertilidade do mesmo utilizando adubos e corretivos, proporcionando o surgimento das áreas com a fertilidade construída. Em uma área com a fertilidade construída, a demanda de nutrientes via fertilizantes não é imediata, com isso, a utilização de uma fonte de baixa solubilidade na reposição pode ocasionar em um melhor aproveitamento do potássio pelas plantas. Além do mais, o Brasil tem grande dependência da importação de fertilizantes potássicos, ao modo que, estudos com potenciais fontes nacionais de potássio poderiam favorecer a agricultura nacional, principalmente se tratando da redução de custos. Uma fonte nacional de baixa solubilidade é o fonolito. O objetivo foi avaliar a eficiência do fonolito como fonte alternativa na reposição do potássio em uma sucessão de espécies agrícolas conduzidas em área de fertilidade construída. O experimento foi conduzido a campo durante os anos agrícolas de 2014 a 2017, cultivando a sucessão de espécies agrícolas: trigo; soja; aveia; milho; aveia e soja. O delineamento foi em esquema fatorial (3x4), envolvendo o fator 1 com fontes de potássio para reposição e no fator 2 porcentagens de retirada de biomassa residual. Após 44 meses foi realizado uma amostragem e solo para caracterização dos teores de potássio neste estudo. Os teores trocáveis de potássio obtidos com os extratores Mehlich-1 e resina se correlacionaram fortemente. A aplicação de cloreto de potássio resultou no maior valor de K-trocável na camada de 0-5 cm. Na camada de 0-5 cm de profundidade, o fonolito proporcionou teores superiores à testemunha sem K e cloreto de potássio para os teores de K-total. O rendimento de grãos e teores de potássio não apresentaram diferencial estatístico para as fontes testadas.

Palavras-chave: Fonolito. Rochagem. Fertilizante alternativo.

2.2 ABSTRACT

A larger part of tropical agriculture occurs at highly weathered soils with low natural fertility. To make the soil productive it is necessary manage the fertility using fertilizers and correctives, providing new areas with built fertility. In this areas, the demand of nutrients by fertilizers it's not immediate, with that, the use of low solubility sources at the replacement may cause a better exploitation of the potassium for the plants. Brazil has a big dependence of importation of these potassium fertilizers. Knowing this, projects with potential national sources of potassium could favor the national agriculture and reducing costs. One national source of low solubility it is phonolite. The goal was to evaluate the phonolite efficiency as an alternative source in the replacement of the potassium in the succession of agricultural species in areas with constructed fertility. The experiment was conducted to field between agricultural years of 2014 and 2017, cultivating the succession of agricultural species as wheat, soybean, oats, corn, oats and soybean. The design was in a factorial scheme (3x4),

involving the first factor with sources of potassium to replacement and withdraw percentages of residual biomass as the second factor. After 44 months was accomplished a soil sampling for characterization of potassium contents in this project. The exchangeable potassium contents obtained with the extractors Mehlich-1 and resin are strongly correlated. The application of potassium chloride resulted the highest value of K-exchangeable in the layer 0-5cm. In the 0-5cm of depth, phonolite provided a higher value without K and potassium chloride for the values of K-total. The yield of grains and contents do not present statistical differential for the sources tested.

Keywords: Phonolite. Rocks for crops. Alternative fertilizer.

2.3 INTRODUÇÃO

Grande parte da agricultura tropical ocorre em solos altamente intemperizados, de baixa fertilidade natural devido à remoção de nutrientes do solo que é acelerada em razão das condições de alta temperatura e precipitação pluvial (Lopes & Guilherme, 2007). Para tornar o solo produtivo é necessário manejar a fertilidade do mesmo, com a aplicação de adubos e corretivos (SBCS/NEPAR, 2017). O manejo agrícola adequado dá origem às chamadas áreas com a fertilidade construída, que são áreas em que o solo apresenta condições físicas, químicas e biológicas adequadas para produção (Resende et al., 2016). Estas se diferenciam das demais pelo histórico das sucessivas aplicações de fertilizantes e corretivos que permitem efeitos residuais cumulativos.

O potássio (K) é essencial para a nutrição vegetal, responsável por diversos processos bioquímicos e fisiológicos (Meurer, 2008; Hawkesford et al., 2012). Para fornecimento às plantas, as principais fontes utilizadas são os fertilizantes solúveis, cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3). O Brasil é altamente dependente da importação destes insumos (Martins et al., 2008). Segundo ANDA (2016), o consumo total de fertilizantes potássicos no Brasil foi de 9,27 milhões de toneladas, sendo apenas 0,49 milhões produção nacional. A utilização de fontes de potássio que apresentam baixa solubilidade seria uma opção. De acordo com SBCS/NEPAR (2017), quando o teor do nutriente encontra-se em nível alto/muito alto no solo – característica de uma área com a fertilidade construída, a produção relativa mínima deve ser acima de 90 %, assim, entende-se que a demanda dos nutrientes via fertilizantes não é imediata.

Uma fonte nacional de baixa solubilidade é o fonolito, rocha silicatada constituída principalmente pela nefelina sienito [$\text{Na}_3\text{K}(\text{SiAlO}_4)$], que faz parte do grupo dos feldspatóides (silicatos anidros similares aos feldspatos, porém com menor quantidade de sílica) (Ernani et al., 2007; Melo et al., 2009), encontrados em grande quantidade em Poços de Caldas – Minas Gerais (Teixeira et al, 2015). Dependendo da região, o teor de K_2O presente no fonolito pode variar, sendo normalmente entre 7,4 a 9%, além de possuir outros elementos, como cálcio, magnésio, sódio e ferro (Manning, 2009; Faria et al., 2012; Lira & Neves, 2013; Teixeira et al., 2015).

Estudos com a aplicação direta de rochas moídas já são amplamente divulgados para o fósforo, por meio do fosfato natural (Kliemann & Lima, 2001; Souza et al., 2014; Caires et al., 2017). Já para o potássio existem poucos estudos com a aplicação direta de rochas na agricultura. A definição desta técnica chama-se rochagem, que consiste na aplicação da rocha moída no solo, onde a água auxiliará na dissolução do pó de rocha lentamente, liberando os nutrientes de forma gradativa (van Straaten, 2006; van Straaten, 2007; Martins et al, 2008).

A maior parte do potássio absorvido pelas culturas produtoras de grãos permanece na parte vegetativa (SBCS/NEPAR, 2017). Com isso, a exportação deste nutriente é expressivamente maior quando a parte aérea é colhida para uso como feno ou silagem ou mesmo para produção de energia que de acordo com Saidur et al. (2011), tem sido crescente por ser uma fonte renovável de energia. Se tratando da remoção da biomassa residual, maior atenção deve ser dada à reposição do potássio exportado, evitando assim o esgotamento das reservas do solo.

Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do fonolito como fonte alternativa na reposição do potássio em uma sucessão de espécies agrícolas conduzidas em área de fertilidade construída e com remoção de biomassa.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, região sudoeste do Estado do Paraná, localizada nas coordenadas 26°16'36" Sul e 52°41'20" Oeste. O clima da região é do tipo Cfb na classificação de Köppen, ou seja, clima temperado propriamente dito, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo

de 22°C e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013). Altitude média de 760 m. Geologicamente, a região apresenta rochas da Formação Serra Geral, pertencentes ao terceiro planalto do estado do Paraná, com derrame de rochas basálticas (Rocha, 2014), e mineralogicamente com predomínio de caulinita e óxidos de ferro.

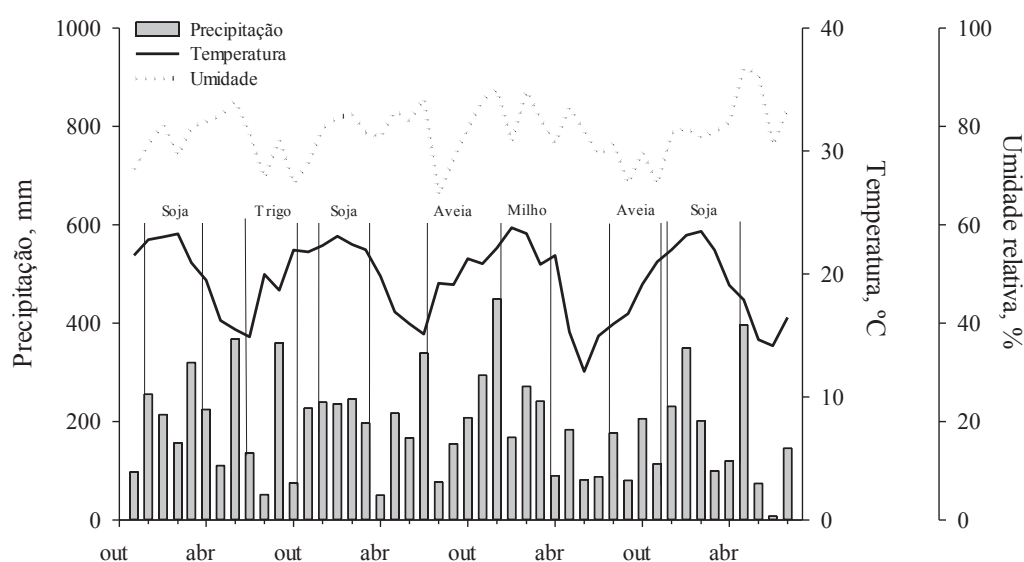
O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO (Embrapa, 2013). Antes da instalação do experimento o solo apresentou os seguintes atributos na camada de 0-20 cm: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 5,1; C 30,3 g kg⁻¹; P 19,9 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H+Al e CTC de 0,23; 4,78; 2,80; 3,97 e 11,8 cmol_cdm⁻³, respectivamente. Com 66 % de saturação por bases e zero de saturação por alumínio, além do teor de argila de 770 g kg⁻¹. De acordo com a interpretação, todos os parâmetros químicos deste solo se encontram na classe alto/muito alto, caracterizando uma área de fertilidade construída manejada ao longo dos anos em sistema de semeadura direta.

Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (3x4). O fator 1 é representado pelas fontes de potássio (sem K; reposição com fertilizante solúvel – cloreto de potássio 60% de K₂O; e reposição com fertilizante de baixa solubilidade – fonolito 7,5% de K₂O). O fonolito apresentava granulometria 100 % < 0,105 µm. O fator 2 foi constituído da retirada de porcentagens da biomassa residual (0; 33; 66 e 100 %). Após a separação dos grãos, a biomassa residual era devolvida ao solo de acordo com a porcentagem de retirada, visando o esgotamento do solo por meio da exportação de K. A reposição do K foi realizada a lanço sem incorporação em cada safra agrícola, imediatamente após a semeadura. A dose aplicada em cada safra foi baseada na exportação de K em cada tratamento, definida a partir da análise de K na parte aérea e nos grãos. No total foram cinco aplicações, totalizando uma reposição acumulada de 234 kg ha⁻¹ de KCl (127 kg ha⁻¹ de K) e 1984 kg ha⁻¹ de fonolito (123 kg ha⁻¹ de K). O delineamento experimental utilizado em campo foi o de blocos completamente casualizados, com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais, cada uma com 42 m² (6 x 7 m).

O experimento teve início em novembro de 2013 com a implantação da soja, cultivar BMX Apolo. Nesta espécie foi mensurada a média de produtividade de grãos e biomassa residual, assim realizada a retirada da biomassa residual de acordo com os tratamentos. Após as análises dos teores de K foi calculada e aplicada a reposição das fontes de potássio de acordo com a exportação, semeando na sequência o trigo, cultivar Quartz, em 2014. As culturas implantadas e avaliadas da mesma forma na rotação foram: 2014/2015 soja (BMX Potencia); 2015 aveia (preta

comum); 2015/2016 milho (P30F53); 2016 aveia (preta comum) e 2016/2017 soja (TMG 7062 IPRO INOX). A semeadura e os tratos culturais seguiram as recomendações propostas para a região sudoeste do estado do Paraná. Os dados climáticos também foram levantados junto a estação do SIMEPAR localizada na área experimental do IAPAR, distante aproximadamente 10 km da área de condução do experimento (Figura 1).

FIGURA 1 – DADOS CLIMATOLÓGICOS COLETADOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO IAPAR, DISTANTE APROXIMADAMENTE 10 KM DO LOCAL ONDE FOI CONDUZIDO O EXPERIMENTO, OS DADOS SÃO REFERENTES AO PERÍODO DE 01/11/2013 ATÉ 28/08/2017, PATO BRANCO – PR.



FONTE: Ranzan (2018).

O rendimento de grãos e biomassa residual (Mg ha^{-1}) foi mensurado através da colheita total da parcela, onde, após a trilha, os grãos foram separados da biomassa residual, que foi captada com auxílio de um saco elaborado com tela sombreada. Após a pesagem foi retirada uma alíquota de grãos e biomassa residual para correção da umidade. Para o grão foi considerado 130 g kg^{-1} de umidade, enquanto a biomassa residual foi corrigida para zero.

Nas mesmas alíquotas de grãos e biomassa residual foi analisado o teor de K, seguindo a metodologia proposta por Martins e Reissmann (2007) e, com base no rendimento foi determinado o conteúdo de potássio no grão e biomassa residual (kg ha^{-1}). As fontes de K foram comparadas em relação à sua eficiência relativa, tomando-se como referencial (eficiência relativa = 100 %), o tratamento que não

recebeu adubação potássica (testemunha), essa definida como equivalente sem K (eq.semK).

Em julho de 2017, quarenta e quatro meses após o início do experimento foi realizada amostragem de solo, coletando-se em cada parcela 10 amostras simples para formar uma amostra composta nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm. Nestas amostras foi realizado o fracionamento do K em: K-trocável: realizado pelo método do Mehlich-1 e resina (van Raij et al., 2001); K-não trocável: foi utilizado 0,5 gramas de solo juntamente com 5 mL de HNO_3 1 mol L^{-1} , transferidos para tubos de teflon e levados para o forno de micro-ondas (Mars Xpress 6) por 5 min e 30 s, até atingir a temperatura de rampa de 100°C , esta, mantida durante 4 min e 30 s, após a leitura foi descontado do valor o K-trocável ($\text{K-não trocável} = \text{leitura} - \text{K-trocável}$) (Batista et al., 2016); e K-estrutural: utilizando uma adaptação do método 3052 da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1996), com uso de aproximadamente 0,3 g de amostra juntamente com 9 mL de HNO_3 e 3 mL de HF concentrados, onde as amostras foram digeridas em forno de micro-ondas (Mars Xpress 6) por 9 min e 10s, com temperatura de rampa de 180°C , mantida por mais 9 min e 30 s. Para descobrir o valor de K-estrutural foram descontado os valores de K-trocável e K-não trocável ($\text{K-estrutural} = \text{leitura} - \text{K-não trocável} - \text{K-trocável}$). Neste caso o valor da leitura representa o K-total.

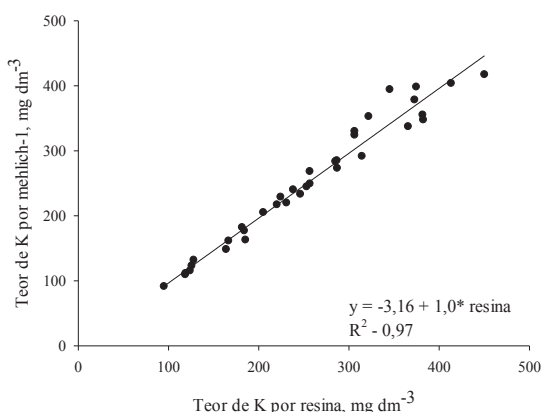
Nas mesmas profundidades de coleta para análise química, foi realizada uma amostragem com anéis volumétricos (77 cm^3) para determinação da densidade do solo. Com essa informação foram calculados os estoques das formas de potássio no solo.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias, posteriormente, sendo realizada a análise de variância (ANOVA), através do software R[®] 2.15.1 e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para avaliação do fator porcentagem de retirada foi utilizada análise de regressão. A plotagem gráfica foi realizada com uso do software Sigma[®]Plot 12.0.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores trocáveis de K obtidos com os extratores Mehlich-1 e resina se correlacionaram fortemente ($r= 0,97$) (Figura 2). Medeiros et al. (2010) também encontraram correlação similar para solos muito intemperizados. Bortolon et al. (2009) obtiveram a mesma correlação, com maior dispersão dos dados em valores acima de 250 mg dm^{-3} de K, resultado que corrobora com os encontrados neste estudo. Portanto, o teor do K-trocável no solo não foi superestimado pelo extrator ácido Mehlich-1, que poderia solubilizar o K aplicado com o fonolito. Pelo fato das análises apresentarem alta correlação, o K-trocável será apresentado apenas com os valores do extrator Mehlich-1.

FIGURA 2 – CORRELAÇÃO DO TEOR DE POTÁSSIO NO SOLO EXTRAÍDO PELOS MÉTODOS DE MEHLICH-1 E RESINA, PATO BRANCO – PR



FONTE: Ranzan (2018).

Após a sucessão de seis espécies agrícolas (44 meses), a reposição com cloreto de potássio resultou no maior valor de K-trocável na camada de 0-5 cm, com média de $242,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ($0,62 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$), $78,8 \text{ mg dm}^{-3}$ superior à testemunha (Figura 3a), não ocorrendo diferença entre o cloreto de potássio e o fonolito ($203,6 \text{ mg dm}^{-3}$). Toledo (2017) encontrou resultados semelhantes testando fonolito e cloreto de potássio no eucalipto com a avaliação 10 meses após a aplicação das fontes de K. Nas camadas subsuperficiais de 5-10; 10-20 e 20-30 cm não houve diferença entre as fontes para o teor de K-trocável, ocorrendo um decréscimo nos teores à medida que aumenta a profundidade (Figura 3a).

A alta solubilidade do cloreto de potássio em água facilita a elevação dos teores de K-trocável no solo. De acordo com Ernani et al. (2007), o cloreto de

potássio apresenta solubilidade em água de 340 g L^{-1} enquanto Reis et al. (2016) em extrações de 30 dias em água, encontraram a liberação de apenas $0,0012 \text{ mg kg}^{-1}$ de K contido na nefelina sienito. Esta diferença explica o valor intermediário do fonolito entre o KCl e a ausência de aplicação de K. O fonolito apresentou uma equivalência de 84 % ao cloreto de potássio, nos teores de K-trocável.

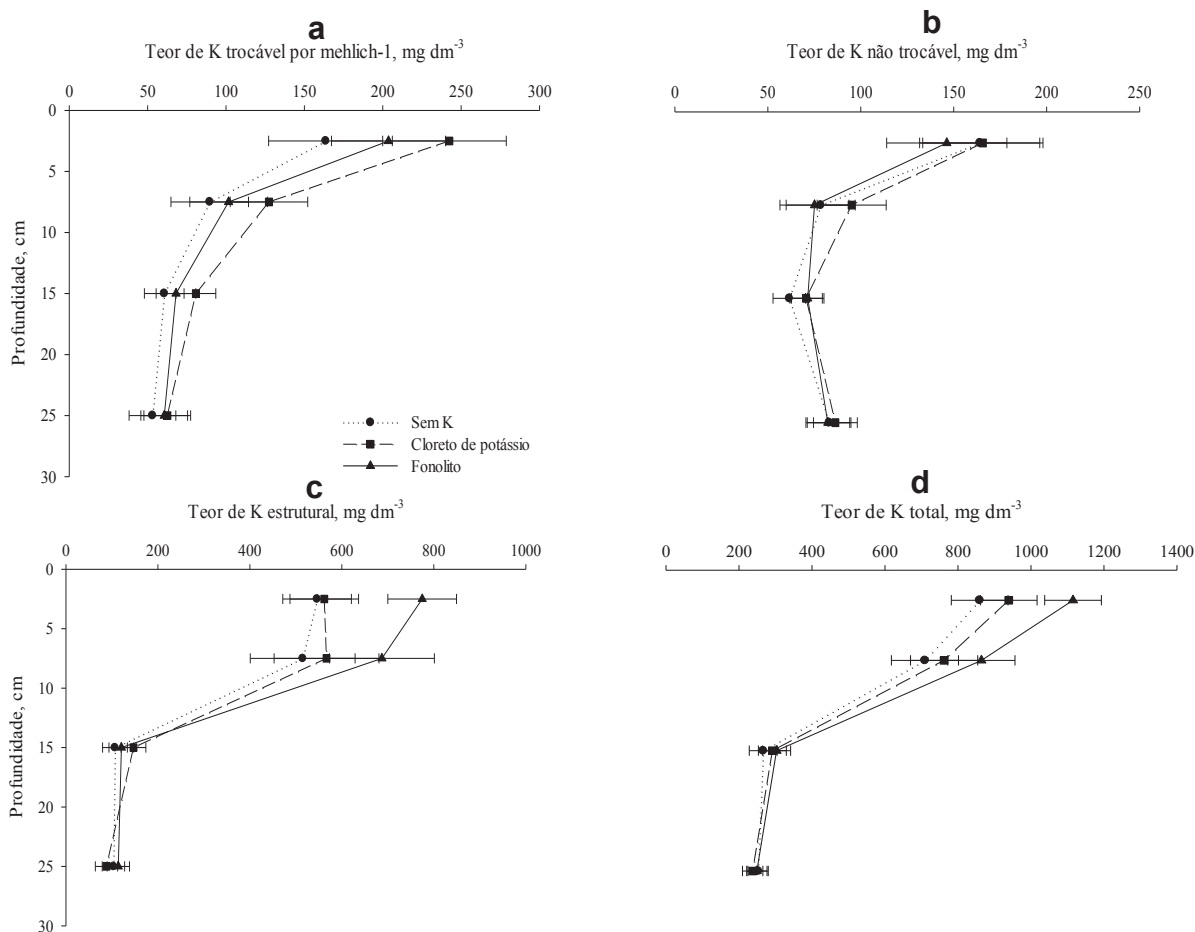
Os teores de K-não trocável não diferiram com o uso de fontes na reposição do potássio em todas as profundidades avaliadas. Apenas houve um decréscimo nos teores de K-não trocável da camada superficial 0-5 cm para as subsuperficiais (Figura 3b). Este decréscimo nas camadas superficiais para as subsuperficiais pode estar relacionado com o manejo agrícola anterior ao experimento. O teor de K-não trocável é alto quando comparado ao observado por Melo et al. (2005) em um Latossolo também derivado de basalto. Em profundidade superior a 30 cm, estes autores encontraram valores de 54 mg kg^{-1} , enquanto, neste estudo, o teor médio encontrado na profundidade de 20-30 cm foi de $83,9 \text{ mg kg}^{-1}$.

A reserva de K no solo tem como parte o K-estrutural, que, ao contrário do K-trocável foi maior na camada de 0-5 cm de profundidade com a aplicação do fonolito ($774,6 \text{ mg kg}^{-1}$) do que com a ausência de aplicação de K ou com a reposição de cloreto de potássio ($546,2$ e $561,8 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente) (Figura 3c). Golfetto (2016) trabalhando na mesma área 27 meses antes desta avaliação, encontrou valores de K-estrutural de $588,3$, $589,2$ e $766,4 \text{ mg kg}^{-1}$ para testemunha sem K, cloreto de potássio e fonolito, respectivamente. Isso demonstra que, com o passar do tempo, o manejo agrícola acarretou na alteração das reservas de K do solo e o fonolito foi o único que aumentou sensivelmente as reservas de K-estrutural, justamente pelo fato deste material apresentar baixa solubilidade, reduzindo assim as perdas no sistema. Para as demais profundidades não houve alteração entre as fontes de K.

Este maior teor de K-estrutural ocasionado pela aplicação de fonolito está relacionado à sua composição mineralógica, formado principalmente pelo grupo dos feldspatóides (nefelina sienito) (Deer et al., 1992; Manning, 2009). Assim, para a liberação do K destes minerais é necessária sua intemperização, através das reações de hidrólise e protonação, mediada pela água e ácidos orgânicos (Melo et al., 2009). A dissolução do fonolito é lenta em comparação ao cloreto de potássio, havendo um aumento na concentração de K-estrutural no solo com aplicação de fonolito.

O K-total, devido ao efeito cumulativo, apresentou o mesmo comportamento que o K-estrutural. Na camada de 0-5 cm de profundidade, o fonolito proporcionou teores superiores à testemunha sem K e cloreto de potássio, com respectivos valores de 1115,4, 859,7 e 939,3 mg kg⁻¹ (Figura 3d). Para as demais profundidades 5-10; 10-20 e 20-30 cm não houve diferencial estatístico (Figura 3d). Observa-se que, até a camada de 10-20 cm, o solo aparenta ter sofrido influência do manejo adotado ao longo dos anos (sucessivas adubações e correções) e abaixo demonstra características originárias do seu material de origem, o basalto. Melo et al. (2005) encontrou 202,2 mg kg⁻¹ de K-total em profundidades superiores à 30 cm nos Latossolos originados do basalto no Estado de Minas Gerais, neste estudo o teor médio de K-total na profundidade de 20-30 cm foi 246,4 mg kg⁻¹ de K-total (Figura 3d).

FIGURA 3 – TEOR DE POTÁSSIO TROCÁVEL (a); NÃO TROCÁVEL (b); ESTRUTURAL (c) E TOTAL (d) DO SOLO EM FUNÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO APLICADAS PARA REPOSIÇÃO DO EXPORTADO PELAS PLANTAS DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR

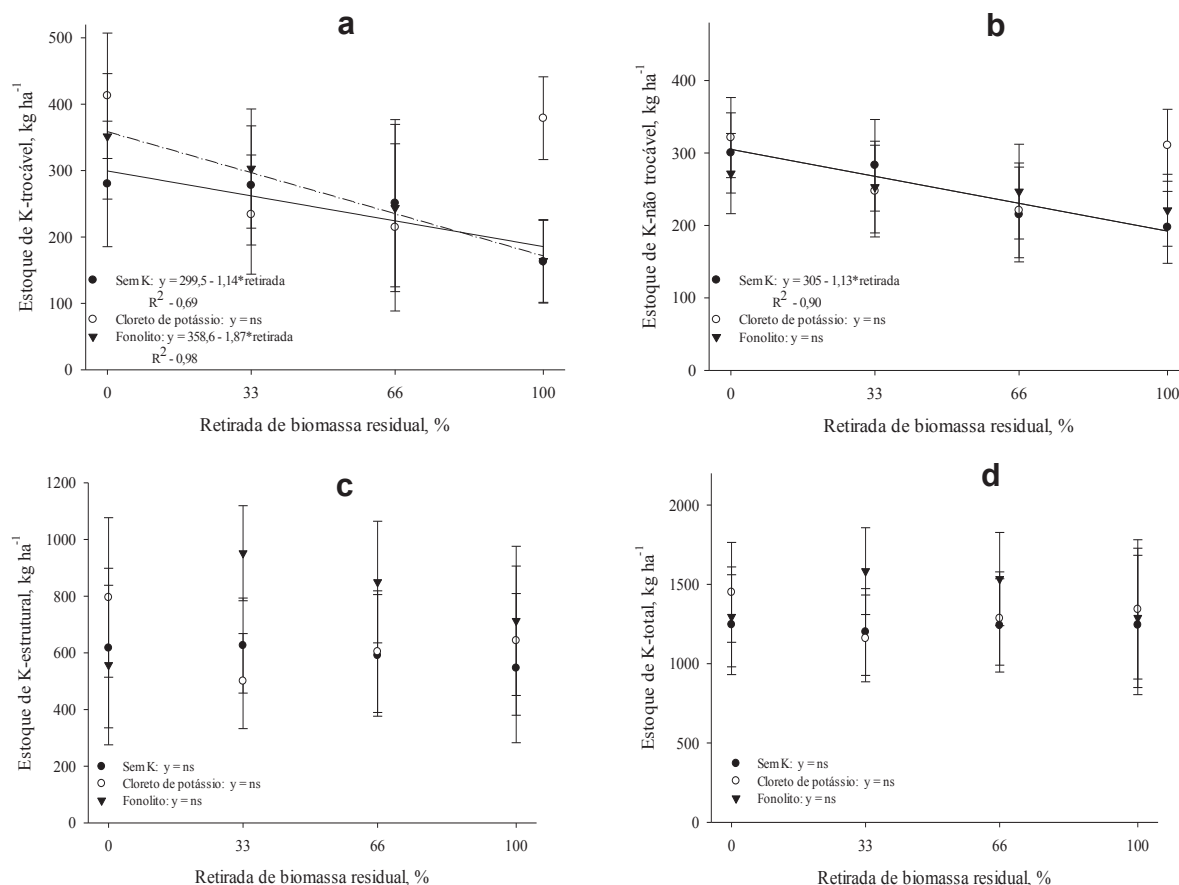


FONTE: Ranzan (2018).

Para apresentar os efeitos da retirada de biomassa residual, são utilizados os valores dos estoques das formas de K analisadas, dentro da camada de 0-30 cm de profundidade. O estoque de K-trocável diminuiu linearmente com o aumento da retirada de biomassa residual, tanto quando não houve aplicação de K, quanto com a aplicação de fonolito. Enquanto que com a aplicação de cloreto de potássio os estoques se mantiveram (Figura 4a). Assim, é possível notar que o fonolito não foi eficiente em manter os estoques de K-trocável, apresentando uma redução de 52,1 % entre a não retirada da biomassa residual e a retirada de 100 %. Este efeito está relacionado à sua baixa solubilidade, ao modo que a exportação de K pelas plantas e também as perdas por lixiviação superam a liberação deste nutriente pelo fonolito.

O estoque de K-não trocável diminuiu linearmente com o aumento do porcentual de retirada de biomassa apenas para a testemunha, sem K (Figura 4b). A retirada de biomassa não alterou os valores K-estrutural e o K-total, independente de aplicar ou não a adubação potássica, com estoque médio na camada de 0-30 cm de 666,1 e 1322,3 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 4c e 4d).

FIGURA 4 – ESTOQUE DE POTÁSSIO TROCÁVEL (a); NÃO TROCÁVEL (b); ESTRUTURAL (c) E TOTAL (d) NA CAMADA DE 0-30 CM DO SOLO, EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO E RETIRADA DA BIOMASSA RESIDUAL AGRÍCOLA DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR



FONTE: O autor (2018).

As formas de K mantêm um equilíbrio específico com a solução do solo, e este equilíbrio apresenta o seguinte sentido: K-estrutural → K-não trocável → K-trocável → K-solução (Ernani et al., 2007). Isso explica a acentuada diminuição do K-trocável do solo na testemunha sem aplicação de K e com a aplicação do fonolito, pois, o K-trocável é o primeiro na ordem de reposição do K-solução absorvido/lixiado. Na sequência, quem mantém o K-trocável é o K-não trocável, que diminuiu apenas na testemunha sem K (Figura 4b), onde o saldo negativo foi mais acentuado pela não reposição do mesmo.

Durante os 44 meses de condução do experimento foram cultivados sete safras entre verão e inverno, porém, sendo avaliados seis cultivos. Na condução dos experimentos por se tratar de ensaios de campo, a influência de fatores bióticos e abióticos prejudicou o ciclo de algumas culturas. A soja em 2014/2015 sofreu um

severo dano por ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), com isso, o rendimento ficou abaixo das médias alcançadas na região. Para o milho cultivado na safra 2015/2016, a baixa precipitação ocorrida durante o mês de janeiro de 2016 prejudicou o enchimento de grãos. Em um período de 29 dias, choveu apenas 66 milímetros (Figura 1).

O rendimento de biomassa residual variou apenas na cultura da soja cultivada na safra 2014/2015, quando o fonolito proporcionou maiores valores em relação à ausência de aplicação de K. Para as demais espécies e safras, não houve variação (Tabela 1).

TABELA 1 – PARÂMETROS DE PLANTA ANALISADOS EM UMA SUCESSÃO DE ESPÉCIES AGRÍCOLAS EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR

	Trigo ¹		Soja		Aveia ²		Milho		Aveia ²		Soja	
	B	G	B	G	B	B	G	B	B	G	B	G
Produção												
.....Mg ha ⁻¹												
Fontes												
Sem	3,15	2,07	1,65b	0,61	2,70	5,56	3,13	2,90	2,92	3,29		
KCI	3,07	1,99	1,72ab	0,59	2,75	5,61	3,05	3,09	3,02	3,34		
Fonolito	3,12	2,03	1,81a	0,63	2,68	5,51	3,26	3,13	2,97	3,68		
Teor de potássio												
.....g kg ⁻¹												
Sem	3,70	3,54	6,92	16,0	36,0	12,4	2,91	16,7	14,9	16,4		
KCI	3,84	3,54	7,47	15,4	38,4	12,6	2,82	17,3	16,8	16,1		
Fonolito	3,93	3,56	7,55	15,8	34,7	14,0	2,82	16,9	15,0	16,4		
Produção equivalente sem K												
.....%												
KCI	97	96	104	97	102	101	97	107	103	102		
Fonolito	99	98	110	104	100	99	104	108	102	112		
Extração equivalente sem K												
.....%												
KCI	102	97	113	93	106	102	95	110	116	100		
Fonolito	106	99	122	102	95	111	101	109	103	112		

¹ Espécies agrícolas apresentadas na tabela na sequência de sucessão das safras 2014, 2014/15, 2015, 2015/2016, 2016, 2016/2017 e 2017. ² Para a aveia somente foi mensurado o rendimento de biomassa em pleno florescimento. B – biomassa residual agrícola; G – grãos. ³ Calculado através da multiplicação do teor de K com a produtividade, posteriormente foi realizado o cálculo de equivalência com a testemunha (testemunha = 100 %).

FONTE: Ranzan (2018).

O fato de a aplicação de fonolito ter apresentado o maior acúmulo de biomassa residual na soja da safra 2014/15 pode estar relacionado ao efeito benéfico do Si, tendo em vista que houve um severo ataque de ferrugem asiática. O fonolito apresenta em sua composição 52,2 % de silício (Si) e Mancuso et al. (2014) encontraram maior absorção de Si pelas plantas de café com a aplicação de fonolito em relação ao cloreto de potássio. Broadley et al. (2012) colocam o Si como um elemento benéfico, e atua potencializando os mecanismos de defesa das plantas com o acúmulo de lignina, fitoalexinas, compostos fenólicos, quitinases e peroxidases. Em alguns casos, é observada diminuição de lesões ocasionadas pela ferrugem asiática na cultura da soja com a aplicação de silício em soluções nutritivas (Lima et al., 2009; Cruz et al., 2012).

Os rendimentos de grãos não variaram entre a aplicação de fonolito e cloreto de potássio, nem mesmo as fontes apresentaram diferenças com relação à testemunha sem K (Tabela 1). Lacerda et al. (2015) e Scherer (1998) também verificaram efeito semelhante ao cultivar espécies em rotação e solos com altos teores de K.

O rendimento de grãos acumulado ao longo dos 44 meses de condução do experimento também não variou entre as fontes de K, estas apresentaram rendimento acumulado de 9,10; 8,97 e 9,60 Mg ha⁻¹, respectivamente para testemunha sem K, cloreto de potássio e fonolito.

Para a produção equivalente ao tratamento sem aplicação de K houve baixa variação entre as fontes de potássio solúvel e de baixa solubilidade e a testemunha, tanto para a produção de grãos, quanto para a produção de biomassa residual. No entanto, é possível perceber que a produção de grãos com o fonolito apresenta um incremento em relação à testemunha sem K com o passar da sucessão das seis espécies agrícolas. Saindo de 98 % de equivalência para o trigo no ano agrícola de 2014 e finalizando o experimento com 112 % de equivalência para a soja no ano agrícola de 2016/2017, 3 anos após o início do experimento. Este mesmo efeito não foi verificado para a fonte solúvel cloreto de potássio.

Os teores de K analisados nos grãos e na biomassa residual não variaram entre as fontes de K testadas, nem mesmo com relação à testemunha sem K (Tabela 2). Novamente, isso pode estar relacionado com a grande reserva de K no solo. Somente de estoque de K-trocável, existe uma quantidade média prontamente disponível de 255,4 kg ha⁻¹ na camada de 0-30 cm de profundidade, valor acima do

que é demandado para a produção de todas as culturas testadas. Esta ausência de efeito na produtividade de biomassa e grãos reflete os altos teores deste nutriente no solo (Tabela 2). No eq.sem K calculado para o K extraído é possível perceber a mesma eficiência da fonte de baixa solubilidade fonolito no fornecimento de potássio para as plantas. Durante seis safras de condução do experimento (44 meses), a aplicação do cloreto de potássio resultou num acumulado de 383,8 kg ha⁻¹ de K, enquanto com o fonolito de 382,5 kg ha⁻¹. Ambos apresentando um leve incremento com relação à testemunha sem K de 20,1 e 18,8 kg ha⁻¹ de K, respectivamente.

TABELA 2 – ANÁLISE DE REGRESSÃO DAS RETIRADAS DE BIOMASSA RESIDUAL PARA CADA FONTE DE POTÁSSIO TESTADA NA SUCESSÃO DE ESPÉCIES DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR

	Biomassa residual			Grãos		
	Sem	KCl	Fonolito	Sem	KCl	Fonolito
Trigo	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Soja	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Aveia	ns	ns	ns	-	-	-
Milho	y = 6108,5 – 11,0*retirada	ns	ns	y = 3983,7 – 13,7*retirada	ns	ns
Aveia	ns	ns	ns	-	-	-
Soja	ns	ns	ns	y = 3816,6 – 11,5*retirada	ns	ns
Total	ns	ns	ns	y = 10031 – 18,7*retirada	ns	y = 10094 – 9,84*retirada

¹ Espécies agrícolas apresentadas na tabela na sequência de sucessão das safras 2014, 2014/15, 2015, 2015/2016, 2016, 2016/2017 e 2017 ² Para a aveia somente foi mensurado o rendimento de biomassa em pleno florescimento. ns – não significativo.

FONTE: Ranzan (2018).

A retirada de biomassa residual agrícola teve maior efeito na redução da produtividade de grãos quando não foi aplicado K (Tabela 2). Esse decréscimo ocorreu nas duas últimas safras de milho 2015/2016 e soja 2016/2017, sendo que isso pode estar relacionado à redução do teor de K-trocável e K-não trocável no solo (Figura 4a e 4b). Isso se comprova pela correlação, apesar de fraca ($r = 0,53$), do total de grãos acumulado na testemunha sem K com as propriedades químicas do solo (pH, Ca, Mg, K e C), enquanto o fonolito apresentou uma correlação de $r = 0,66$.

A produtividade acumulada de grãos reduziu à medida que se aumentou a retirada de biomassa tanto na ausência de aplicação de K quanto com a reposição

deste nutriente com o fonolito (Tabela 2). O que não ocorreu com a aplicação de KCl para repor o K exportado. No entanto, o coeficiente angular para perda de rendimento, foi de 18,7 kg ha⁻¹ para cada percentual de biomassa residual retirada, quando não houve reposição do K, enquanto com o fonolito o coeficiente angular foi menor e de 9,84 kg ha⁻¹, possivelmente pela manutenção do K-não trocável (Figura 4b) do solo, responsável por manter o K-trocável que é absorvido pelas plantas.

Com o estoque de K-total na camada de 0-30 cm de profundidade, aliado ao K acumulado durante as seis safras agrícolas é possível fazer um balanço de K no experimento. O estoque de K-total para testemunha, cloreto de potássio e fonolito ficaram de 1233, 1309 e 1425 kg ha⁻¹. A diferença no estoque de K-total do KCl e fonolito com relação à testemunha ficou 76 e 192 kg ha⁻¹ respectivamente. Somando essa diferença com o K acumulado durante as seis safras agrícolas obtemos os seguintes valores de 96,1 e 210,8 kg ha⁻¹ de K para o KCl e fonolito respectivamente. O total de K repostado por meio do KCl foi de 127 kg ha⁻¹ e a reposição por meio do fonolito foi de 123 kg ha⁻¹. Com estes valores calculou-se o K recuperado durante a condução do experimento onde o KCl apresentou uma recuperação de 76 % e o fonolito 171 %. O fato do fonolito ter apresentado recuperação superior à sua aplicação pode estar relacionado à maior utilização das reservas de K na testemunha, demonstrando a eficiência do fonolito na reposição do K no solo.

2.6 CONCLUSÕES

Altos níveis de K-trocável no solo foram suficientes para manutenção da produtividade de grãos e biomassa das espécies cultivadas por até três safras consecutivas mesmo com a remoção total da biomassa aérea produzida;

A aplicação de fonolito, fonte de potássio de baixa solubilidade, foi eficiente em repor parcialmente o K-trocável do solo, equivalendo a 84% da fonte solúvel KCl, proporcionando aumento do K-estrutural na camada superficial do solo.

O extrator Mehlich-1 não superestima os teores de K-trocável da fonte de baixa solubilidade fonolito.

2.7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, 2016.

BATISTA, A.H.; MELO, V.F.; GILKES, R. Microwave Acid Extraction to Analyze K and Mg Reserves in the Clay Fraction of Soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, p.1-10, 2016.

BORTOLON, L.; SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2400-2407, 2009.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; MA, J.F.; RENGEL, Z. & ZHAO, F. Beneficial elements. In: MARSCHNER, P., ed. **Mineral nutrition of higher plants**, 3.ed. New York, Elsevier, 2012. p.249-269.

CAIRES, E.F.; SHARRB, D.A.; JORISC, H. A.W.; HALISKIB, A.; BINIB, A.R. Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. **Geoderma**, v. 308, p.120–129, 2017.

CRUZ, M.F.A.; SILVA, L.F.; RODRIGUES, F.A.; ARAUJO, J.M.; BARROS, E.G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.142-145, 2012.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN J. **An Introduction to the Rock Forming Minerals**, 2nd ed., Longman: Harlow, 1992. 696 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. 353p.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. & SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-595.

FARIA, A. F.; ALVAREZ, V. V. H.; MATTIELLO, E. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; PAIVA, H. N. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

GOLFETTO, P. **Uso do fonolito para reposição do potássio exportado com a colheita de grãos e biomassa**. 2016. 54p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S. & WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. **Mineral nutrition of higher plants**, 3.ed. New York: Elsevier, 2012. p.171-178.

KLIEMANN, H.J.; LIMA, D.V. Eficiência agronômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, n. 2, p. 111-119, 2001.

LACERDA, J.J.J.; RESENDE, A.V.; NETO, A.E.F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O.P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.495-505, 2015.

LIMA, L.M.; POZZA, E.A.; POZZA, A. A. A.; FONSECA, T. A. P. S.; CARVALHO, J. G. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.51-56, 2009.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.8, n.3, p. 110 –117, 2013.

LOPES, A. S. & GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do Solo e Produtividade Agrícola. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

MANCUSO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, v. 1448-1456, 2014.

MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **EDP Sciences**, v. 30, p. 281-294, 2009.

MARTINS, A.A.L.; REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químicos-analíticos. **Scientia Agrária**, v.8, n.1, p. 1 – 17, 2007.

MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. Agrominerais - Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: da Luz, A.B.; Lins, F.F., eds. **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2008. p. 205-223.

MEDEIROS, J.S.; OLIVEIRA, F.H.T.; ARRUDA, J.A.; VIEIRA, M.S.; FONTES, M.P.F. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 183-194, 2010.

MELO, V.F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: parte I – conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 251-332.

MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; RIBEIRO, A.N.; MASCHIO, P.A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.533-545, 2005.

MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. p.-281-299.

REIS, D.N.; van STRAATEN, P.; NETO, A.E.F.; BITTAR, S.M.B.; CURI, N. Extractant efficiency in the solubilization of alternative sources of potassium. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 3, p. 397-406, 2016.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; JUNIOR, A. O.; BORIN, A. L. D. C. **Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo**. Informações Agronômicas, n. 166, p. 19, 2016.

ROCHA, D.L. Aspectos geográficos e arcabouço geológico do aquífero serra geral, no estado do Paraná. **Geographia Opportuno Tempore**, v.1, p. 141-152, 2014.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E.A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M.S.; MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2262 – 2289, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO – NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ (SBSCS/NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 482p.

SCHERER, E.E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico distrófico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 57-62, 1998.

SOUZA, R.M.; SOBRAL, L.F.; VIÉGAS, P.R.A.; JUNIOR, A.O & CARVALHO, M.C.S. Eficiência agronômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p.1816-1825, 2014.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A. Effect of thermal treatments on the potassium and sodium availability in phonolite rock powder. **International Journal of Mineral Processing**, v.145, p.57-65, 2015.

TOLEDO, F.H.S.F. **Crescimento, nutrição mineral e eficiência do uso da água em povoamento de eucalipto fertilizado com fontes alternativas ao KCl**. 2017. 100p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Method 3052**. 1996. Disponível em:

<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>. Acesso em: 10. Dez. 2017.

van RAIJ, B.; ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

van STRAATEN, P. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Cambridge/Ontario: Enviroquest Ltda, 2007, p. 440.

van STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v.78, p. 731-747, 2006.

3 CAPÍTULO II: REPOSIÇÃO DE FÓSFORO EM ÁREA COM FERTILIDADE CONSTRUÍDA FORÇANDO O ESGOTAMENTO DO SOLO

3.1 RESUMO

Nos solos altamente intemperizados, o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes a produção agrícola. A disponibilidade é limitada em razão da forte influência dos colóides, os quais o imobilizam rapidamente. Áreas manejadas adequadamente ao longo dos anos dão origem as chamadas áreas com a fertilidade construída, estas diferenciam-se das demais pelo histórico das sucessivas aplicações de fertilizantes e corretivos que permitem efeitos residuais cumulativos. Áreas que possuem um elevado teor de P no solo devem ser manejadas com um olhar diferente, pois a demanda do P pelas plantas não é alta via fertilizantes, tendo em vista que o solo suporta o fornecimento deste nutriente para as plantas. A utilização dos fosfatos naturais poderia melhorar o aproveitamento do fósforo pelas plantas e também manter os teores de P altos no solo. O objetivo foi avaliar a eficiência do fosfato natural Itafós como fonte alternativa na reposição do fósforo em uma sucessão de espécies agrícolas conduzidas em área de fertilidade construída. O experimento foi conduzido a campo durante os anos agrícolas de 2014 a 2017, cultivando a sucessão de espécies agrícolas: trigo; soja; aveia; milho; aveia e soja. O delineamento foi em esquema fatorial (3x4), envolvendo o fator 1 com fontes de fósforo para reposição e no fator 2 porcentagens de retirada de biomassa residual. Após 44 meses foi realizada uma amostragem e solo para caracterização dos teores de fósforo neste estudo. O extrator Mehlich-1 superestimou os teores de P-disponível no solo com aplicação do fosfato natural Itafós. Observou-se que os valores de P-disponível obtidos com os extratores Mehlich-1 e resina apresentaram correlações significativas. Pelo método da resina os maiores teores de P-disponível foram com a reposição do super fosfato triplo. A retirada de biomassa residual não afetou o estoque de P-disponível extraído pelos métodos de Mehlich-1 e resina para nenhum dos tratamentos avaliados. Durante o ciclo de sucessão cultural avaliado, a resposta das espécies à reposição com fontes solúveis e de baixa solubilidade foi inexistente, tanto para o rendimento de grãos, quanto de biomassa residual.

Palavras-chave: Fosfato natural. SFT. Sucessão de espécies agrícolas.

3.2 ABSTRACT

In highly weathered soils, the phosphorus is one of the more limitations nutrients in the agricultural production. The availability is limited because the colloid influence, that immobilize them quickly. Areas managed correctly give rise to areas with built fertility and the differential themselves from the others by the history of the successive applications of fertilizers and correctives that allow cumulative residual effects. Areas that have a high content of P in the soil must be managed with a different view, because the demand of P for the plants is low by fertilizers, knowing that the soil supports that nutrient to the plants. The use of natural phosphates could improve the use of phosphorus by plants and maintain high levels of P in the soil. The objective was to evaluate the efficiency of the natural phosphate Itafos as an

alternative source in the replacement of phosphorus in a succession of agricultural species conducted in a constructed fertility area. The experiment was conducted to field between agricultural years of 2014 and 2017, cultivating the succession of agricultural species as wheat, soybean, oats, corn, oats and soybean. The design was in a factorial scheme (3x4), involving the first factor with sources of phosphor to replacement and withdraw percentages of residual biomass as the second factor. After 44 months was accomplished a soil sampling for characterization of phosphor contents in this project. The Mehlich-1 extractor overestimated the levels of P-available in soil with application of the natural phosphate Itafós. It was observed that the values of P-available obtained with the Mehlich-1 and resin extractors showed strongly correlations. By the resin method the highest levels of P-available was with the replacement of the triple super phosphate. Residual biomass removal did not affect the content P-available stock by the Mehlich-1 and resin methods for any of the evaluated treatments. During the cycle of cultural succession evaluated, the response of the species to the replacement with soluble sources and of low solubility was non-existent, both for grain yield and residual biomass.

Keywords: Natural phosphate. TSP. Succession of agricultural species.

3.3 INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros apresenta baixa fertilidade natural por ser altamente intemperizado. Nestes solos, o fósforo (P) é um nutriente limitante na produtividade agrícola e sua disponibilidade é limitada em razão da forte influência dos colóides, os quais o imobilizam rapidamente (Novais et al., 2007; Bastos et al., 2008). Estima-se que aproximadamente 75 % do P aplicado seja retido nas partículas de solo (van Raij, 2004), resultando em uma eficiência agrônômica inferior a 20 % (Araújo et al., 2003; Ramos et al., 2009). Em razão disso, há necessidade de aplicações frequentes de fertilizantes fosfatados para proporcionar e manter alta produtividade.

O manejo agrícola adequado da origem às chamadas áreas com a fertilidade construída, que, segundo Resende et al. (2016), são áreas em que o solo apresenta condições físicas, químicas e biológicas adequadas para produção. Estas diferenciam-se das demais pelo histórico das sucessivas aplicações de fertilizantes e corretivos que permitem efeitos residuais cumulativos. De acordo com SBCE/NEPAR (2017), quando o teor do nutriente se encontra em nível alto no solo – característica de uma área com a fertilidade construída, a produção relativa mínima deve ser acima de 90 %, assim, entende-se que a demanda dos nutrientes via fertilizantes não é imediata. Isso já foi observado por Fontoura et al. (2010), onde

concluíram que, no sistema plantio direto, não há necessidade de aplicação de fertilizantes fosfatados para obtenção de alta produtividade em solos que tenham teores altos de P, a não ser para culturas muito exigentes nesse nutriente.

Entre as fontes de P, os mais utilizados são os fertilizantes fosfatados completamente acidulados, obtidos pela solubilização ácida de rochas fosfáticas de baixa solubilidade, como exemplo, o superfosfato simples $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ e triplo $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$, os quais se caracterizam pela alta solubilidade e pela elevada concentração de P disponível (Fernandes et al., 2010). Entretanto, o alto custo dessas fontes de P tem despertado o interesse pelos fosfatos naturais (FN), que custam bem menos por unidade de P do que os solúveis (Resende et al., 2006). Os FN resultam simplesmente da moagem da rocha fosfática, podendo ou não passar por processos físicos de concentração. A solubilidade desses fertilizantes é variável em função da origem e do grau de substituições isomórficas (Van Straaten, 2006).

Segundo Guareschi et al. (2008), a aplicação de fontes fosfatadas naturais, a lanço, no plantio direto, é uma prática viável para adubação de manutenção e restituição de solos que apresentam teores médios a altos de P. Para solos com baixos teores de P recomenda-se a aplicação em sulco, com fertilizantes solúveis, pois permite maior concentração de P na zona de maior crescimento radicular (REIN et al., 2015).

A agricultura, além de produzir alimentos necessários para suprir a demanda global, pode contribuir com a geração de energia elétrica. De acordo com Eckert et al. (2013); Tolmasquim (2016), a busca por fontes de energias renováveis é crescente e o uso da biomassa residual agrícola apresenta um grande potencial. Se tratando da remoção da biomassa residual, alguns cuidados devem ser levados em consideração, como um dos princípios básicos do sistema de plantio direto – a manutenção da palhada na superfície do solo, e a reposição dos nutrientes exportados, que é maior em relação à colheita somente de grãos.

Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do fosfato natural Itafós como fonte alternativa na reposição do fósforo em uma sucessão de espécies agrícolas conduzidas em área de fertilidade construída com remoção de biomassa residual.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado a campo na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Pato Branco, região sudoeste do Estado do Paraná, localizado nas coordenadas 26°16'36" Sul e 52°41'20" Oeste. O clima da região é do tipo Cfb na classificação de Köppen, ou seja, clima temperado propriamente dito, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013). Com altitude média de 760 m. Geologicamente, a região apresenta rochas da formação serra geral, pertencentes ao terceiro planalto do estado do Paraná, com derrame de rochas basálticas (Rocha, 2014), e pedologicamente com predominância do mineral caulinita.

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO (Embrapa, 2013). Antes da instalação do experimento o solo apresentou os seguintes atributos na camada de 0-20 cm: pH_{CaCl2} 5,1; C 30,3 g kg⁻¹; P 19,9 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H+Al e CTC de 0,23; 4,78; 2,80; 3,97 e 11,8 cmol_cdm⁻³, respectivamente. Com 66 % de saturação por bases e zero de saturação por alumínio, além do teor de argila de 770 g kg⁻¹. De acordo com a interpretação, todos os parâmetros químicos deste solo se encontram na classe alto/muito alto, caracterizando uma área de fertilidade construída manejada ao longo dos anos em sistema de semeadura direta.

Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial (3x4). O fator 1 é representado por três tratamentos (sem adubação com fósforo; reposição com fertilizante solúvel – superfosfato triplo (42 % de P₂O₅); reposição com fertilizante de baixa solubilidade – fosfato natural Itafós (22,4 % de P₂O₅). A reposição do fósforo foi realizada a lanço na superfície do solo, com base na análise do teor de P na biomassa residual e grãos de cada parcela, aplicando a média das repetições de acordo com a exportação. O fator 2 foi constituído da retirada de porcentagens da biomassa residual (0; 33; 66 e 100 %). Após a separação dos grãos, a biomassa residual era pesada e devolvida ao solo de acordo com a porcentagem de retirada. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completamente casualizados, com três blocos, totalizando 36 unidades experimentais, cada uma com 42 m².

O experimento teve início em novembro de 2013 com a implantação da soja, cultivar BMX Apolo. Nesta cultura, foi mensurada a média de produtividade de grãos

e biomassa residual, realizando a retirada da biomassa de acordo com os tratamentos do fator 2. Após as análises laboratoriais foi aplicada a reposição do P exportado, considerando o teor total de P das fontes de fósforo, semeando a cultura subsequente que foi o trigo (Quartzo) em 2014. As culturas implantadas na sequência foram: 2014/2015 soja (BMX Potencia); 2015 aveia preta; 2015/2016 milho (P30F53); 2016 aveia preta; e 2016/2017 soja (TMG 7062 IPRO). A semeadura e os tratos culturais seguiram as recomendações propostas para a região sudoeste do estado do Paraná.

O rendimento de grãos e biomassa residual (Mg ha^{-1}) foi mensurado através da colheita total da parcela, onde, após a trilha, os grãos foram separados da biomassa residual, que foi captada com auxílio de um saco elaborado com tela sombrite. Após a pesagem foi retirado uma alíquota de grãos e biomassa residual para correção da umidade. Para o grão foi considerado 130 g kg^{-1} de umidade, enquanto a biomassa residual foi corrigida para zero.

Na mesma alíquota foi analisado o teor de fósforo no grão e na biomassa residual (g kg^{-1}), seguindo a metodologia proposta por Martins e Reissmann (2007) e, com base no rendimento foi determinado o conteúdo de fósforo no grão e biomassa residual (kg ha^{-1}). A partir do conteúdo calculou-se a quantidade exportada de P em cada tratamento para reposição com as diferentes fontes.

As fontes de P foram comparadas em relação à sua eficiência relativa, tomando-se como referencial (eficiência relativa = 100 %), a produção de grãos do tratamento que não recebeu adubação fosfatada (testemunha), essa definida como equivalente sem P (eq.semP).

Em julho de 2017, quarenta e quatro meses após o início do experimento foi realizado uma amostragem de solo estratificada. Foram coletados 10 pontos simples para formar uma amostra composta nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm. Nestas amostras foi realizado o fracionamento do fósforo: fósforo disponível realizado pelo método do Mehlich-1 e resina (van Raij et al., 2001); fósforo total, realizado utilizando uma adaptação do método 3052 da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1996). Utilizou-se aproximadamente 0,4 g de amostra juntamente com 9 mL de HNO_3 e 3 mL de HF concentrados, onde as amostras foram digeridas em forno de micro-ondas (Mars Xpress 6) por 9 min e 10s, com temperatura de rampa de 180°C , mantida por mais 9 min e 30 s. Após a filtragem dos extratos, o fósforo foi determinado em ICP-AOS.

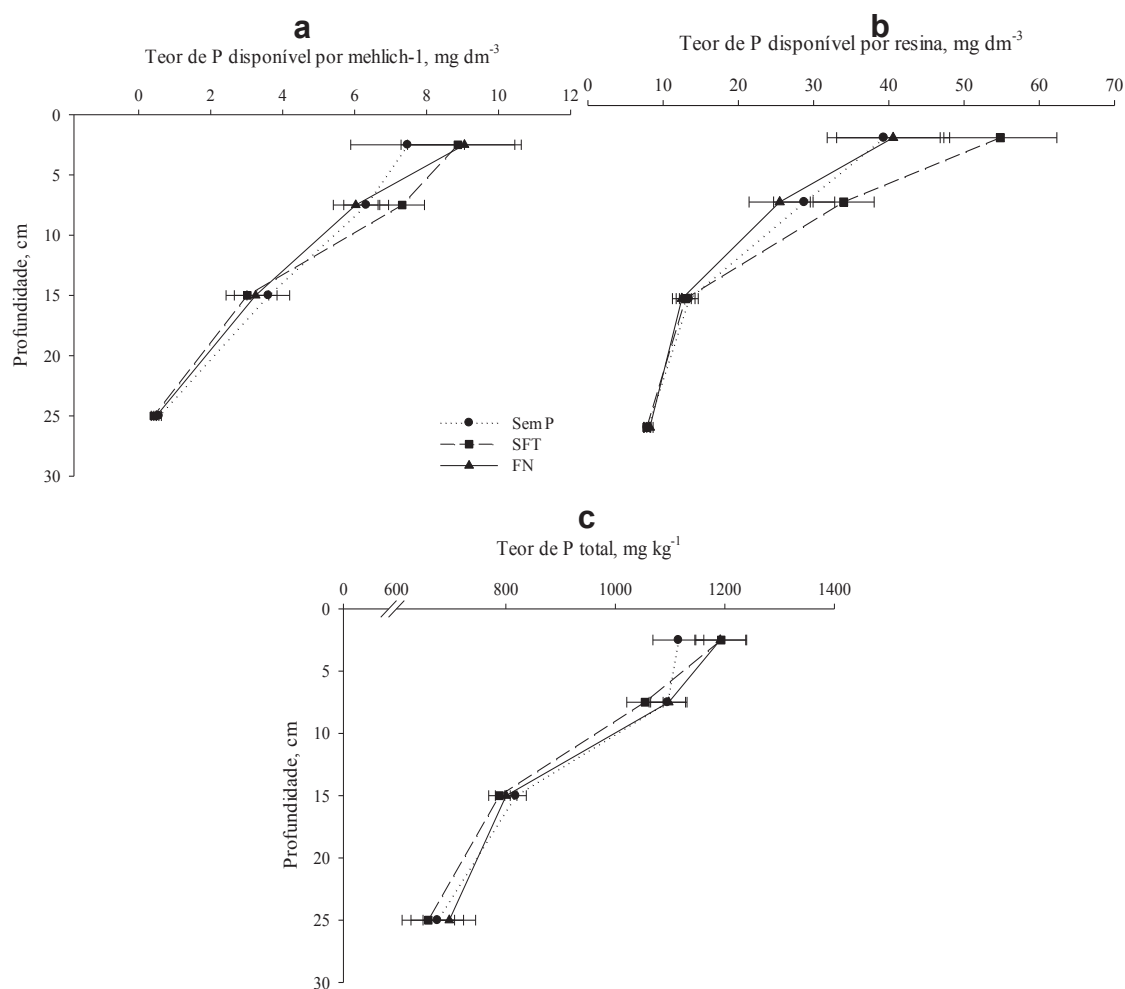
Nas mesmas profundidades de coleta no campo, foi realizada uma amostragem com anéis volumétricos (77 cm^3) para determinação da densidade do solo. Com essa informação foi determinado o estoque das formas de fósforo no solo (kg ha^{-1}): estoque de fósforo disponível pelo método de Mehlich-1; estoque de fósforo disponível pelo método da resina e estoque de fósforo total do solo.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias, posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA), através do software R[®] 2.15.1 e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Para avaliação do fator doses, foi utilizada análise de regressão. A plotagem gráfica foi realizada com uso do software Sigma[®]Plot 12.0.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores não apresentaram interação significativa. O teor de fósforo disponível foi analisado após seis sucessões de espécies agrícolas, aproximadamente 44 meses do início do experimento. O procedimento foi realizado seguindo duas metodologias, Mehlich-1 (Figura 5a) e resina de troca aniônica (Figura 5b). O teor de P-disponível extraído pelo Mehlich-1 não variou entre as fontes de P, nem mesmo com relação à testemunha. Isso aconteceu em todas as profundidades avaliadas, encontrando valores médios de 8,46, 6,56, 3,29 e 0,49 mg dm⁻³, respectivamente para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

FIGURA 5 – TEOR DE FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR MEHLICH-1 (a); FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR RESINA (b); FÓSFORO TOTAL (c) SUBMETIDAS A FONTES DE FÓSFORO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO – PR



FONTE: Ranzan (2018).

Para o P-disponível extraído por resina, maiores valores foram observados na profundidade de 0-5 cm, onde se aplicou o SFT (54,83 mg dm⁻³), enquanto, o fosfato natural Itafós e a testemunha apresentaram valores respectivos de 40,58 e 39,33 mg dm⁻³, não diferindo estatisticamente entre si. Para as demais profundidades não houve diferencial estatístico entre os tratamentos (Figura 5b), obtendo valores médios de 29,41, 12,97 e 12 mg dm⁻³, respectivamente, nas camadas 5-10, 10-20 e 20-30 cm. O efeito significativo apenas na camada superficial do solo ocorre pelo fato da reposição dos fertilizantes fosfatados terem sido realizadas na superfície do solo, que aliada à baixa movimentação do fósforo no perfil, faz com que haja um acúmulo na camada superficial (Novais et al., 2007; Rheinheimer et al., 2008).

Este comportamento desconstruído entre os resultados do teor de P-disponível analisado pelos extratores Mehlich-1 (Figura 5a) e resina (Figura 5b), principalmente na camada de 0-5 cm, pode ser atribuído à superestimação do P-disponível do tratamento com fosfato natural. O Itafós é uma fonte de baixa solubilidade e o extrator Mehlich-1, por ser elaborado através da mistura de ácido sulfúrico e clorídrico, pode ter solubilizado parte deste fosfato, que ainda não está prontamente disponível para as plantas. Assim, observando o comportamento com o extrator resina (Figura 5b), percebe-se que o maior teor é do tratamento SFT, sendo este fertilizante altamente solúvel no solo, por já ter passado por tratamentos ácidos na indústria.

Segundo Mehlich (1984), o método Mehlich-1 reage no solo através da dissolução ácida, solubilizando em ordem decrescente de efetividade as formas de P ligadas a cálcio, alumínio e ferro. O fosfato natural Itafós é formado por fosfato de cálcio $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$ (Monteiro, 2008), com isso, seu contato com o extrator Mehlich-1 pode solubilizar este material, superestimando os valores.

Realizando análise de correlação de algumas variáveis, observou-se que os valores de P-disponível obtidos com os extratores Mehlich-1 e resina apresentaram correlações significativas de 0,63 e 0,83 nas profundidades de 0–5 e 5–10 cm, respectivamente (Tabela 3). Esse acréscimo nos valores de correlação na camada subsuperficial pode estar relacionada ao menor contato do extrator Mehlich-1 com partículas de fosfato natural, pelo fato deste fertilizante ter sido aplicado em superfície. Brasil e Muraoka (1997) encontraram valores de correlação entre os extratores Mehlich-1 e resina de 0,50 e 0,53, respectivamente, sendo que as

amostragens foram realizadas com 52 dias de intervalo em experimento de casa de vegetação. As correlações entre o fósforo total acumulado (PTA) e os extratores foram baixas, porém significativas. O extrator Mehlich-1 apresentou correlações de 0,36 e 0,53 nas profundidades de 0-5 e 5- 10 cm, enquanto a resina só apresentou correlações significativas na profundidade de 5-10 cm (0,35) (Tabela 3). Alguns autores pontuam que algumas formas de P podem não ser sensíveis às extrações por Mehlich-1 e resina, como o fósforo na forma orgânica. O fósforo orgânico pode constituir de 5 a 80% do fósforo total dos solos tropicais, este sendo fonte de fósforo às plantas (Rheinheimer & Anghinoni, 2003; Rheinheimer et al., 2008).

TABELA 3 – CORRELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PARÂMETROS AVALIADOS NO ENSAIO DE CAMPO. PATO BRANCO – PR.

	Prod	PTA	PMA	PRA	PMB	PRB	EPMT	EPRT
PT	1,0	-	-	-	-	-	-	-
PAT	0,74*	1,0	-	-	-	-	-	-
PMA	0,22	0,36*	1,0	-	-	-	-	-
PRA	0,18	0,26	0,63*	1,0	-	-	-	-
PMB	0,31	0,53*	0,56*	0,64*	1,0	-	-	-
PRB	0,25	0,35*	0,40*	0,58*	0,83*	1,0	-	-
EPMT	0,18	0,07	0,47*	0,54*	0,51*	0,39*	1,0	-
EPRT	-0,02	0,24	0,57*	0,94*	0,72*	0,73*	0,62*	1,0

* Significativo à 5 % de probabilidade ($p < 0,05$). Prod – produção total acumulada; PTA – fósforo total acumulado; PMA – fósforo Mehlich-1 na camada 0 – 5 cm; PRA – fósforo resina na camada 0 - 5 cm; PMB – fósforo Mehlich-1 na camada 5 – 10 cm; PRB – fósforo resina na camada 5 – 10 cm; EPMT – estoque de fósforo total extraído pelo mehlich-1; EPRT – estoque de fósforo total extraído por resina.

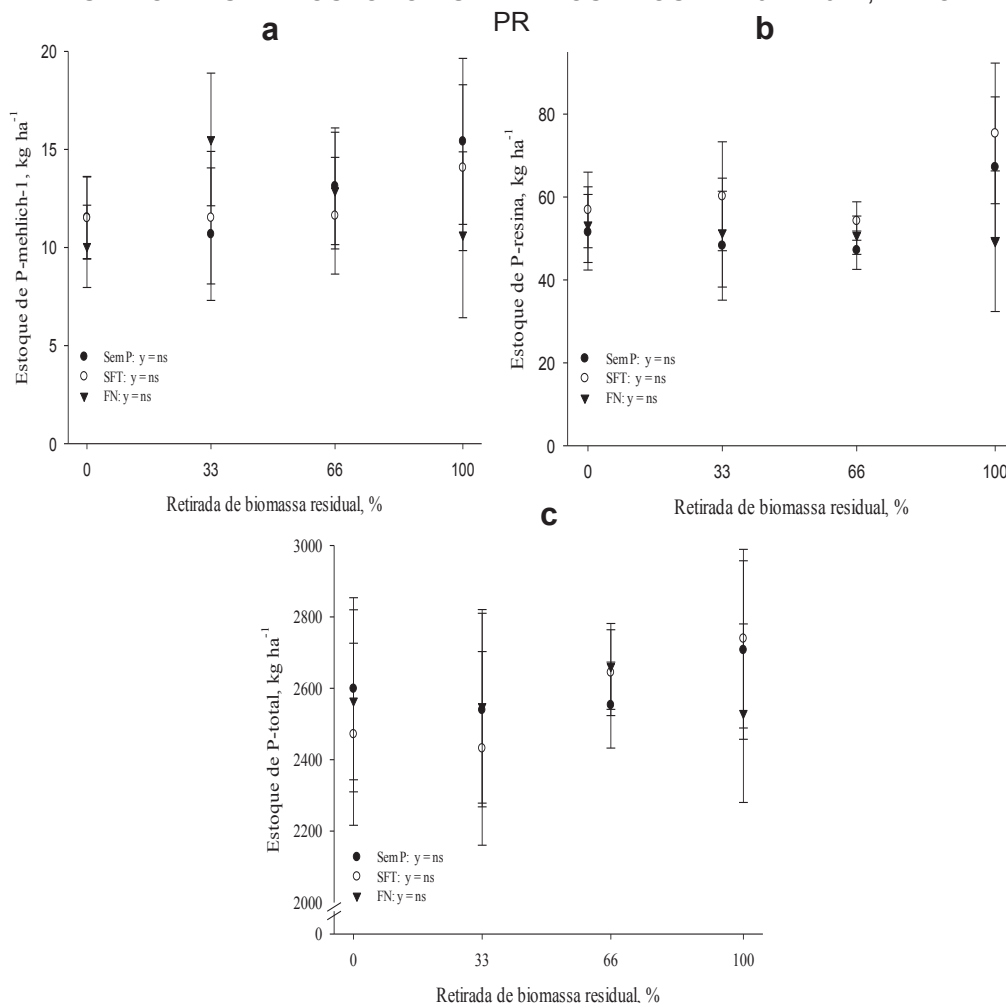
FONTE: Ranzan (2018).

O teor de P-total não variou entre as fontes de P testadas, nem mesmo comparando com a testemunha (Figura 5c). Esse comportamento foi igual em todas as profundidades avaliadas, porém, na camada de 0-5 cm onde as fontes foram aplicadas, houve um distanciamento das fontes de P com relação à testemunha, ficando os teores da testemunha sem P, SFT e FN Itafós de 1115, 1193 e 1192 mg kg⁻¹, respectivamente. Está sensível diminuição do P pode estar associada ao efeito acumulativo da ausência de reposição do P exportado com a retirada da biomassa. O teor médio para as demais profundidades foi de 1082; 802 e 677 mg kg⁻¹, respectivos para 5-10; 10-20 e 20-30 cm de profundidade. Abboud et al. (2018)

avaliaram o teor de P-total em um latossolo de textura argilosa com aplicação a longo prazo de dejetos líquidos bovinos, obtendo valores de P-total de 1020 mg kg⁻¹ na profundidade de 0-10 cm para a maior dose aplicada. O decréscimo acentuado do teor de P-total para as camadas abaixo de 20 cm também foi observado por estes autores.

A retirada de biomassa residual não afetou o estoque de P-disponível extraído pelos métodos de Mehlich-1 e resina para nenhum dos tratamentos avaliados na camada de 0 – 30 cm de profundidade. O estoque de P-disponível médio para a extração com Mehlich-1 ficou em 12,4 kg ha⁻¹ e para a resina 55,5 kg ha⁻¹ (Figura 6a e 6b). O estoque de P-total também não variou com a retirada de biomassa residual, apresentando um valor médio de 2582 kg ha⁻¹. Fica evidente a acentuada imobilização do fósforo nos minerais de argila deste solo, onde, do total de fósforo existente no solo, apenas 0,48 % estaria disponível para as plantas baseado na extração por Mehlich-1 e 2,15 % baseado na resina. Proporções semelhantes também foram encontradas por Abboud et al. (2018) em um LATOSSOLO dos Campos Gerais do Estado do Paraná.

FIGURA 6 – ESTOQUE DE FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR MEHLICH-1 (a); ESTOQUE DE FÓSFORO DISPONÍVEL EXTRAÍDO POR RESINA (b); ESTOQUE DE FÓSFORO TOTAL (c) SUBMETIDAS A FONTES DE FÓSFORO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO –



FONTE: Ranzan (2018).

Durante o ciclo de sucessão cultural avaliado, a resposta das espécies à reposição com fontes solúveis e de baixa solubilidade foi inexistente, tanto para o rendimento de grãos, quanto de biomassa residual (Tabela 4). Fontoura et al. (2010), estudaram fontes fosfatadas em dois ciclos de rotação de culturas, cada um com seis safras entre verão e inverno, encontrando respostas para as fontes no terceiro ano do primeiro ciclo de rotação, onde o SFT apresentou produção 4,5 % superior à média das fontes de baixa solubilidade FN Arad e FN Gafsa. Na produção dos seis cultivos, envolvendo as quatro espécies de 2014 a 2017, a máxima diferença encontrada entre as fontes de reposição foi para aveia cultivada em 2015, terceira espécie na sucessão, onde com a aplicação da fonte solúvel SFT proporcionou produtividade de biomassa 16 % superior ao FN Itafós, mas este valor não foi significativo.

TABELA 4 – PARÂMETROS DE PLANTA ANALISADOS EM UMA SUCESSÃO DE ESPÉCIES AGRÍCOLAS EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE POTÁSSIO DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR

	Trigo ¹		Soja		Aveia ²		Milho		Aveia ²		Soja	
	B	G	B	G	B	B	G	B	B	G	B	G
Produtividade												
.....Mg ha ⁻¹												
Fontes												
Sem	2,90	1,82	2,03	0,97	2,63	6,54	3,01	2,98	3,38	3,98		
SFT	2,91	1,80	2,04	0,98	2,87	6,20	3,17	2,80	3,38	4,06		
Itafós	2,92	1,79	2,10	0,97	2,45	6,32	2,83	2,52	3,23	3,78		
Teor de fósforo												
.....g kg ⁻¹												
Sem	0,62	4,30	1,07	5,62	3,35	0,70	2,83	1,18	0,69	4,78		
SFT	0,60	4,81	1,13	5,60	3,13	0,79	2,65	1,20	0,75	4,94		
Itafós	0,59	4,51	0,91	5,40	3,23	0,79	3,08	1,22	0,65	4,77		
Produção equivalente sem P												
.....%												
SFT	100	99	100	101	109	95	105	94	100	102		
Itafós	101	98	103	100	93	97	94	84	96	95		
Extração equivalente sem P												
.....%												
SFT	99	105	104	99	102	104	96	99	122	104		
Itafós	97	98	89	94	90	116	103	89	98	97		

¹ Espécies agrícolas apresentadas na tabela na sequência de sucessão das safras 2014, 2014/15, 2015, 2015/2016, 2016, 2016/2017 e 2017. ² Para a aveia somente foi mensurado o rendimento de biomassa em pleno florescimento. B – biomassa residual agrícola; G – grãos. ³ Calculado através da multiplicação do teor de P com a produtividade, posteriormente foi realizado o cálculo de equivalência com a testemunha (testemunha = 100 %).

FONTE: Ranzan (2018).

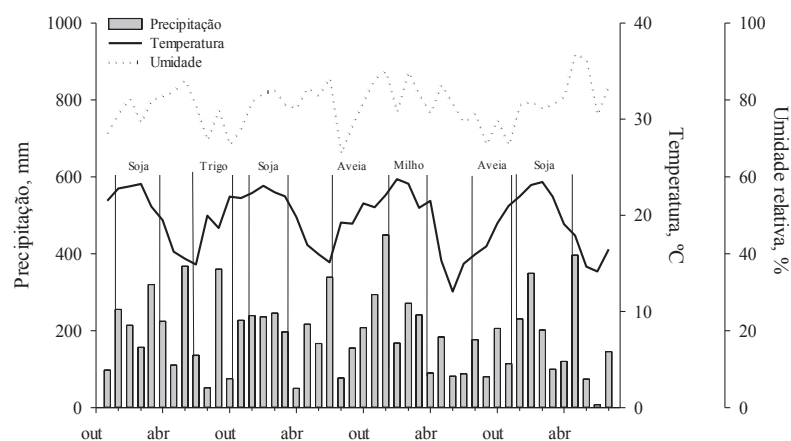
Richard & Lanna (2006) encontraram diferenças significativas para o rendimento de biomassa seca de soja com a aplicação de SFT em relação ao FN em solo com teor médio de P, sendo esta diferença de 8 %, enquanto para o rendimento de grãos não houve diferença.

Foi calculado o percentual de equivalência sem P (Eq.semP) para as fontes solúveis e de baixa solubilidade com a finalidade de verificar um possível decréscimo do rendimento da testemunha sem P para com as fontes testadas no decorrer da sucessão de espécies agrícolas. No entanto, não foi verificado este comportamento para as seis safras avaliadas, onde o SFT apresentou um Eq.semP médio de 100 %, e o FN Itafós apresentou 96 % de equivalência com a testemunha sem P. As condições de solo (área com a fertilidade construída) e da planta,

parecem ter favorecido o tratamento sem disponibilização de P, fazendo com que as discrepâncias de produtividade não fossem tão acentuadas com as demais fontes.

Na condução dos experimentos, por se tratar de ensaios de campo, a influência de fatores bióticos e abióticos prejudicou o ciclo de algumas culturas. A soja em 2014/2015 sofreu um severo ataque de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), com isso, o rendimento ficou abaixo das médias alcançadas na região (3700 kg ha⁻¹) (CONAB, 2017). Para a cultura do milho 2015/2016, a baixa precipitação ocorrida durante o mês de janeiro de 2016, período do pendoamento, prejudicou o rendimento de grãos. Isso é facilmente percebido se comparando os meses de janeiro durante a condução do experimento, onde janeiro de 2016 apresentou a menor precipitação de todos os anos avaliados (168 mm) (Figura 7).

FIGURA 7 - DADOS CLIMATOLÓGICOS COLETADOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DO IAPAR, DISTANTE APROXIMADAMENTE 10 KM DO LOCAL ONDE FOI CONDUZIDO O EXPERIMENTO, OS DADOS SÃO REFERENTES AO PERÍODO DE 01/11/2013 ATÉ 28/08/2017, PATO BRANCO – PR.



FONTE: Ranzan (2018).

Os teores de P analisados na biomassa residual e nos grãos não variaram entre as fontes solúvel e de baixa solubilidade, nem mesmo estas com a testemunha (Tabela 4). Os teores observados corroboram com valores encontrados para essas culturas (SBCS/NEPAR, 2017). Com base no teor do P e as produções respectivas de biomassa residual e grãos, foi calculado o total de P extraído pelas seis espécies cultivadas, não havendo diferencial estatístico para esta variável. O total de P extraído na biomassa residual e grãos ficaram 63,7; 65,2 e 61,2 kg ha⁻¹, respectivamente para testemunha sem P, SFT e FN Itafós. Os dados de extração de P, correspondentes à soma dos conteúdos de P da biomassa residual e grãos,

apresentaram estreita relação com a exportação do nutriente (Tabela 4). O grão foi o destino final da maior parte (77 %, em média) do P absorvido, com base no P acumulado na biomassa e grãos (teor de P x produtividade de biomassa/grãos). Na literatura alguns autores concluem que em longo prazo, solos com adição de fertilizantes fosfatados em quantidades suficientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, as formas inorgânicas e orgânicas de P têm capacidade semelhante de fornecer P para as plantas (Gatiboni et al., 2007). Sendo que um possível efeito dos tratamentos somente seria perceptível em um prazo maior de condução do experimento, como em alguns trabalhos foi possível recuperar até 95 % do fósforo aplicado em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (Rheinheimer et al., 2000).

O Eq.semP foi calculado para o P extraído por cada safra conduzida ao longo dos 44 meses do experimento (Tabela 4). Na média, o SFT apresentou um Eq.semP de 103 %, enquanto o FN Itafós um percentual de equivalência com a testemunha de 97 %. A equivalência entre as fontes de P de baixa e alta solubilidade com a testemunha sem P, vai de encontro com o que afirma a literatura, onde, solos que se encontram em níveis de interpretação alto ou muito alto apresentam baixa resposta a adubação. Santos et al., (2011) encontraram maiores incrementos na massa seca da parte aérea do feijoeiro em solos não cultivados do que em solos que já vinham sendo cultivados ao longo dos anos, isso corrobora com os dados deste trabalho, onde uma área com a fertilidade construída irá apresentar menor resposta à adubação fosfatada. Van Raij (1991) afirma que os efeitos da adubação fosfatada são pronunciados em áreas com baixos teores deste nutriente no solo.

Para a análise de regressão da retirada de biomassa residual com relação às fontes fosfatadas, não houve comportamento significativo no início da condução do experimento, nas safras de trigo 2014; soja 2014/2015; aveia 2015; milho 2015/2016 (Tabela 5). Somente para a aveia cultivada no ano de 2016 na ausência de aplicação de P houve decréscimo linear de 10,87 kg ha⁻¹ para cada 1 % de biomassa residual que foi retirada na cultura antecessora. No entanto, para o total acumulado de biomassa residual de todas as safras avaliadas houve um comportamento linear decrescente para a testemunha, sendo que, para cada percentual de retirada, a produção de biomassa residual reduziu em 25,72 kg ha⁻¹.

Para as fontes fertilizantes solúveis e de baixa solubilidade, não foi observada variação tanto nas safras individuais quanto no acumulado.

TABELA 5 – ANÁLISE DE REGRESSÃO DAS RETIRADAS DE BIOMASSA RESIDUAL ISOLANDO O FATOR FONTES DE FÓSFORO NA SUCESSÃO DE ESPÉCIES DURANTE OS ANOS DE 2014-2017, PATO BRANCO - PR

	Biomassa residual			Grãos		
	Sem	SFT	FN	Sem	SFT	FN
Trigo	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Soja	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Aveia	ns	ns	ns	-	-	-
Milho	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Aveia	$y = 3416,2 - 10,87 \cdot \text{retirada}$	ns	ns	-	-	-
Soja	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Total	$y = 21087 - 25,72 \cdot \text{retirada}$	ns	ns	ns	ns	ns

¹ Espécies agrícolas apresentadas na tabela na sequência de sucessão das safras 2014, 2014/15, 2015, 2015/2016, 2016, 2016/2017 e 2017 ² Para a aveia somente foi mensurado o rendimento de biomassa em pleno florescimento.

FONTE: Ranzan (2018).

3.6 CONCLUSÕES

O super fosfato triplo foi mais eficiente na reposição dos teores de P-disponível no solo analisado pelo método de resina.

Os extratores Mehlich-1 e resina apresentaram melhor correlações com o total de P extraído pela sucessão de espécies agrícolas na profundidade de 5-10 cm.

A testemunha sem adubação, por apresentar alto teor de P no solo apresentou equivalência com a aplicação de P, tanto para a fonte solúvel SFT, quanto para a fonte de baixa solubilidade na produtividade de grãos e biomassa residual.

3.7 REFERÊNCIAS

ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULARTE, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-

term dairy liquid manure application. **Soil & Tillage Research**, v. 177, p. 45–53, 2018.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARAÚJO, I. B.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; SANTOS, J. Z. L. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, n. 50, p. 27-39, 2003.

BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 136-142, 2008.

BRASIL, E. C.; MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia Tratados com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 599-606, 1997.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos julho 2017**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_07_12_11_17_01_boletim_graos_julho_2017.pdf> Acesso em 25 jan. 2018.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; BASTOS, R. K.; MARI JR., A.; MARI, A. G.; CABRAL, A. C. Biomassa residual vegetal. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 32-44, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MORAES, R.P. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 1907-1914, 2010.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CASSOL, J. P. F. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de cerrado. **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

MARTINS, A. A. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químicos-analíticos. **Scientia Agrária**, v. 8, n. 1, p. 1–17, 2007.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

MONTEIRO, C. F. **Fosforito do grupo bambuí na região de Campos Belos (GO) / Arraias (TO), na borda Oeste do Cráton São Francisco**. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. O. T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471–550.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; BOLDRIN, P. F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 335-343, 2009.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; JÚNIOR, J. D. G. S.; NUNES, R. S.; KORNDORFER, G. H. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, p. 12, 2015. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 29).

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; JUNIOR, A. O.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, n. 166, p. 19, 2016.

RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARGA, D. L.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 345-354, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n.15-16, p. 2339-2354, 2003.

RICHARD, A. & LANNA, M.C. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 695-795, 2006.

ROCHA, D. L. Aspectos geográficos e arcabouço geológico do aquífero serra geral, no estado do Paraná. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 1, p. 141-152, 2014.

SANTOS, J. Z. L.; NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V.; CARNEIRO, L. F. CURI, N.; MORETTI, B. S. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 193-202, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO – NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ (SBCS/NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável**: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Method 3052**. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991.

VAN RAIJ, B. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 106-114.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.; ANDRADE, J. C., CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. n. 78, p. 731-747, 2006.

4 CONCLUSÃO GERAL

A utilização da fonte de baixa solubilidade fonolito demonstrou ser eficiente no fornecimento de potássio para a sucessão de espécies agrícolas conduzidas ao longo dos 44 meses de duração deste experimento, porém, esta fonte, sozinha, não é capaz de manter os teores de potássio disponível no solo.

A utilização do fosfato natural Itafós não demonstrou diferenças quando comparado com a fonte solúvel super fosfato triplo em nenhum parâmetro de planta avaliado, mas no solo, os teores de P-disponível foram superiores com a aplicação do SFT em comparação com o fosfato Itafós, utilizando o extrator resina.

Deve se tomar cuidado com a utilização do extrator Mehlich-1 em solos com aplicação de fosfato natural, pois este extrator solubiliza formas de P indisponíveis para a planta naquele momento. Este efeito de solubilização de formas indisponíveis de P com a utilização do extrator Mehlich-1 não ocorreu para o potássio com a aplicação do fonolito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para manejar a adubação de uma área agrícola, uma das estratégias que podem ser utilizadas são as fontes fertilizantes que serão aplicadas para correção, manutenção e reposição dos teores de nutrientes no solo. Ao passo que aumentamos a fertilidade dos nossos solos, basicamente falando das propriedades químicas, ainda continuamos utilizando os mesmos princípios de adubação - repondo os nutrientes sempre com fontes de alta solubilidade, os quais podem ser perdidos de diversas formas (adsorção, lixiviação).

Estudar o manejo da adubação de áreas com a fertilidade construída com outras fontes fertilizantes, de menor solubilidade, poderá aumentar ainda mais a eficiência de utilização dos nutrientes pelas plantas, principalmente, tendo em vista que estes minerais são um recurso não renovável e a otimização do seu uso é fundamental para a sustentabilidade da agricultura brasileira. Aliado a isso, a busca por fontes fertilizantes nacionais tornaria o agricultor brasileiro mais competitivo, através da redução de custos na produção agrícola.

6 REFERÊNCIAS

- ABBOUD, F. Y.; FAVARETTO, N.; MOTTA, A. C. V.; BARTH, G.; GOULARTE, G. D. Phosphorus mobility and degree of saturation in oxisol under no-tillage after long-term dairy liquid manure application. **Soil & Tillage Research**, v. 177, p. 45–53, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARAÚJO, I. B.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; SANTOS, J. Z. L. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, n. 50, p. 27-39, 2003.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. Anuário estatístico do setor de fertilizantes. **ANDA**. São Paulo, 2016.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes. **ANDA**. São Paulo, 2017.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 136-142, 2008.
- BATISTA, A. H.; MELO, V. F.; GILKES, R. Microwave Acid Extraction to Analyze K and Mg Reserves in the Clay Fraction of Soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-10, 2016.
- BLANCO-CANQUI, H. Crop Residue Removal for Bioenergy Reduces Soil Carbon Pools: How Can We Offset Carbon Losses?. **Bioenergy Research**, v. 6, p. 358–371, 2013.
- BORTOLON, L.; SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2400-2407, 2009.
- BRASIL, E. C.; MURAOKA, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia Tratados com fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 599-606, 1997
- BROADLEY, M.; BROWN, P.; ÇAKMAK, I.; MA, J. F.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Beneficial elements. In: MARSCHNER, P. (ed). **Mineral nutrition of higher plants**, 3. ed. New York: Elsevier, 2012. p. 249-269.
- CAIRES, E. F.; SHARRB, D. A.; JORISC, H. A. W.; HALISKIB, A.; BINIB, A. R. Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. **Geoderma**, v. 308, p.120–129, 2017.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim de grãos julho 2017**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_07_12_11_17_01_boletim_graos_julho_2017.pdf> Acesso em 25 jan. 2018.

CRUZ, M. F. A.; SILVA, L. F.; RODRIGUES, F. A.; ARAUJO, J. M.; BARROS, E. G. Silício no processo infeccioso de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de plantas de soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 142-145, 2012.

DALL'AGNOL, A.; HIRAKURI, M. H. Realidade e perspectivas do Brasil na produção de alimentos e agroenergia, com ênfase na soja. **Embrapa Soja**, Londrina, p. 8, 2008. (Circular técnica, 59).

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN J. **An Introduction to the Rock Forming Minerals**, 2nd ed., Longman: Harlow, 1992.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; BASTOS, R. K.; MARI JR., A.; MARI, A. G.; CABRAL, A. C. Biomassa residual vegetal. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 32-44, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2013.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-595.

FARIA, A. F.; ALVAREZ, V. V. H.; MATTIELLO, E. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; PAIVA, H. N. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26-37, 2012.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MORAES, R.P. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p. 1907-1914, 2010.

FRANDOLOSO, J. F.; LANA, M. C.; FONTANIVA, S.; CZYCZA, R. V. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 54, n. 5, p. 686-694, 2010.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CASSOL, J. P. F. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

GOLFETTO, P. **Uso do fonolito para reposição do potássio exportado com a colheita de grãos e biomassa**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; SOUCHIE, E. L.; ROCHA, A. C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de cerrado. **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina**, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, n. 56, p. 11–36, 2000.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. **Mineral nutrition of higher plants**, 3. ed. New York: Elsevier, 2012. p. 171-178.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 665-682.

KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais e sua influência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 31, n. 2, p. 111-119, 2001.

LACERDA, J. J. J.; RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 495-505, 2015.

LIMA, L. M.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; FONSECA, T. A. P. S.; CARVALHO, J. G. Quantificação da ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 51-56, 2009.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n. 3, p. 110–117, 2013.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p 1-64.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1448-1456, 2014.

MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **EDP Sciences**, Les Ulis, n. 30, p. 281-294, 2009.

MARTINS, A. A. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químicos-analíticos. **Scientia Agrária**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. Agrominerais - Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: da Luz, A.B.; Lins, F.F., (eds.). **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 205-223.

MEDEIROS, J. S.; OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; VIEIRA, M. S.; FONTES, M. P. F. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do estado da Paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 183-194, 2010.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 1409-1416, 1984.

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: parte I – conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 251-332.

MELO, V. F.; CORRÊA, G. F.; RIBEIRO, A. N.; MASCHIO, P. A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 533-545, 2005.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S., (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: **Sociedade Brasileira Ciência**, 2008. p. 281-299.

MONTEIRO, C. F. **Fosforito do grupo bambuí na região de Campos Belos (GO) / Arraias (TO), na borda Oeste do Cráton São Francisco**. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

MURTH JR, D.J.; BRYDEN, K.M. & NELSON, R.G. Sustainable agricultural residue removal for bioenergy: A spatially comprehensive US national assessment. **Applied Energy**, v. 102, p.403-417, 2013.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I. Evolução da fertilidade do solo do Planalto do Rio Grande do Sul nas últimas quatro décadas. **Revista Plantio Direto**, n. 92, p. 39-47, 2009.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. O. T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471–550.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; RODRIGUES, C. R.; SILVA, C. A.; BOLDRIN, P. F. Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 335-343, 2009.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; JÚNIOR, J. D. G. S.; NUNES, R. S.; KORNDORFER, G. H. Manejo da adubação fosfatada para cana-de-açúcar no cerrado. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, p. 12, 2015. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 29).

REIS, D.N.; van STRAATEN, P.; NETO, A.E.F.; BITTAR, S.M.B.; CURTI, N. Extractant efficiency in the solubilization of alternative sources of potassium. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 3, p. 397-406, 2016.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; JUNIOR, A. O.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, n. 166, p. 19, 2016.

RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. L.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 345-354, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems in subtropical soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n.15-16, p. 2339-2354, 2003.

RICHARD, A. & LANNA, M.C. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 695-795, 2006.

RICHARD, A.; LANA, M. C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; LUCCA, E.; BRACCINI, A. disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 695-705, 2007.

ROCHA, D. L. Aspectos geográficos e arcabouço geológico do aquífero serra geral, no estado do Paraná. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 1, p. 141-152, 2014.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E. A.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M. S.; MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 15, p. 2262-2289, 2011.

SANTOS, J. Z. L.; NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V.; CARNEIRO, L. F. CURI, N.; MORETTI, B. S. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 193-202, 2011.

SARKAR, G. K.; CHATTOPADHYAY, A. P.; SANYAL, S. K. Release pattern of non-exchangeable potassium reserves in Alfisols, Inceptisols and Entisols of West Bengal, **Geoderma**, India, v. 8, n. 14, p. 207–208, 2013.

SCHERER, E. E. Níveis críticos de potássio para a soja em Latossolo húmico distrófico de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 57-62, 1998.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DO SOLO – NÚCLEO ESTADUAL DO PARANÁ (SBCS/NEPAR). **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

SOUZA, R. M.; SOBRAL, L. F.; VIÉGAS, P.R.A.; JUNIOR, A. O.; CARVALHO, M. C. S. Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha em solo com elevado teor de cálcio trocável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1816-1825, 2014.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. **Revista holos**, Rio Grande do Norte, v. 5, n. 31, p. 52-64, 2015.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. n. 78, p. 721-730, 2006.

TOLEDO, F. H. S. F. **Crescimento, nutrição mineral e eficiência do uso da água em povoamento de eucalipto fertilizado com fontes alternativas ao KCl**. 100 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2017.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável**: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Method 3052**. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.; ANDRADE, J. C., CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991.

VAN RAIJ, B. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 106-114.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado do São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. n. 78, p. 731-747, 2006.

VAN STRAATEN, P. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Cambridge: Enviroquest Ltd, 2007.

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I.; RESENDE, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007.

ZÖRB, C.; SENBAYRAMB, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture – Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, n. 171, p. 656–669, 2014.